شكر و تقدير

الحمد لله على إحسانه و الشكر له على توفيقه و امتنانه ، أحمده حمداً يليق بجلال وجهه و عظيم سلطانه و اشكره كثيراً على نعمه و آلائه ، و الصلاة و السلام على أشرف رسله وخاتم أنبيائه نبينا محمد صلى الله عليه وسلم و على اله و صحبه .. أما بعد :

الحمد لله على ما من به عليّ من إتمام هذا البحث ووفقني في القيام به وإخراجه بهذه الصورة فله الحمد والشكر التامين أولاً وأخيرا.

وبعد شكر الخالق وحمده ، أتقدم بعظيم الشكر والامتنان لأساتذتي :

الدكتور المهندس : غياث الكسم و الدكتور المهندس محمد النصار

الذين أدين لهما بالفضل بعد الله عز وجل في إتمام هذا العمل و أخراجه على هذا النحو حيث كانا لي أخوةً وأستاذةً وبذلا لي الكثير من الوقت والجهد والعطاء السخي والذي أعجز عن شكره ، فاسأل الله أن يجزيهما على ما قدماه لي خير الجزاء .

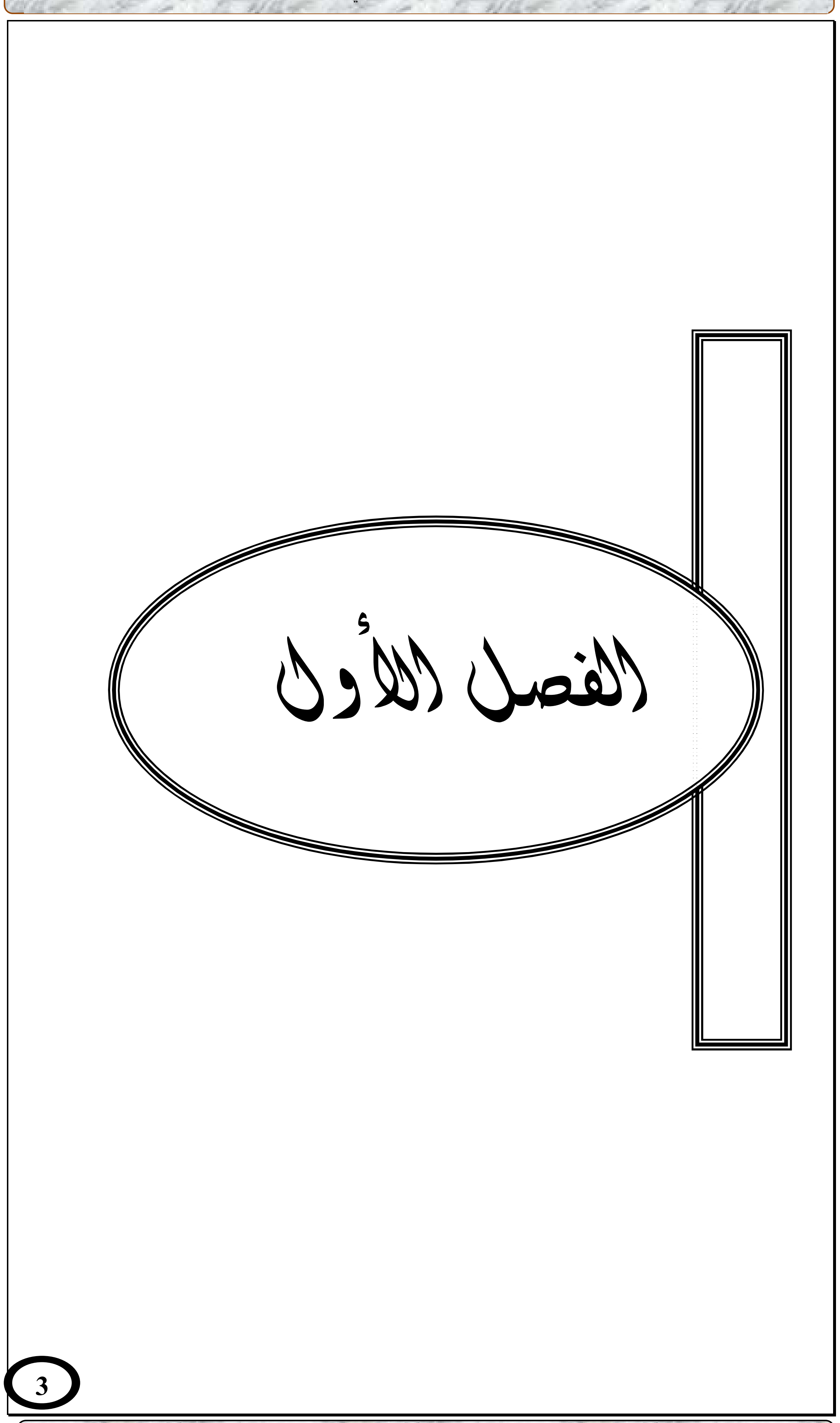
كما أتقدم بخالص الشكر والتقدير للسادة أعضاء هيئة التدريس في قسم الهندسة الجيوتكنيكية أساتذتي الأكارم على ما قدموه لي من مساعدة وعون وأخص بالذكر:

الدكتور المهندس محمد عماد مشلح *رئيس القسم*

والشكر موصول أيضاً لكل أساتذتي في كلية الهندسة المدنية الذين لم يبخلوا يوماً عليّ ولا على أي طالب بشيء قط .

وعموماً لا يفوتني أن أتقدم بخالص شكري وتقديري لكل من ساعدني في هذا العمل من فنيين و عمال في مخابر الكلية في جامعة دمشق ، وفي مخبر كلية الهندسة المدنية في جامعة البعث .

الفهرس


الفصل الأول

بسم الله الرحمن الرحيم

1.1 ـــــ المقدمة :

نظراً للاهتمام المتزايد من قبل كل المعنيين والذين لهم علاقة بموضوع ترشيد استهلاك المياه والمحافظة على هذه الثروة الهامة، فقد أصبحت الحاجة ملحة لإيجاد طرق ووسائل جديدة تؤدي لهذه الغاية.

ومن المعلوم بأن أقنية الري والبحيرات الاصطناعية إن كانت تزيينية أو استثمارية هي إحدى أهم تطبيقات المشاريع المائية في بلادنا، لذلك كان لا بد من الخوض في مجال البحوث العلمية التي تصب في هذا الاتجاه ، وإيجاد مواد تبطين جديدة وأساليب عمل أكثر تطوراً واقتصادية لتنفيذ حواجز هذه المنشآت .

والمقصود هنا بتعبير الحواجز هي الأرضيات و الجدران التي تحتجز المياه وتمنعها من التسرب خارج هذه المنشآت ، بحيث تؤدي هذه المواد الجديدة لتوفير أكبر قدر ممكن من المياه بمنعها من التسرب.

لذلك كان لابد من ايجاد حلول بديلة تكون أكثر اقتصادية وأكثر فعالية وأكثر سهولة في التنفيذ ، ومن هنا جاءت فكرة هذا البحث وهي إيجاد المواصفات المطلوبة واللازمة لإيجاد طبقة ترابية كتيمة ومتينة تنفذ تحت طبقات التبطين التقليدية، مهمتها الحد من تسرب المياه في حال حدثت أي تمزقات أو اهتراءات في طبقة العزل الموضوعة فوقها.

أو المساعدة في حل أي مشكلة تظهر أثناء التنفيذ حيث تصادف وجود طبقة ترابية ذات نفوذية عالية على مسار إحدى القنوات ، أو في الموقع المحدد لتنفيذ البحيرة المطلوبة .

أما **أهمية هذا البحث** : فهي تكمن في أنه لم يتم حتى الآن دراسة مزيج البينتونايت المحلي مع الرمل ، ومدى التحسن الذي يطرأ على بعض المواصفات الفيزيائية له .

وله أهمية اقتصادية حيث يتم بهذه الحالة تخفيف عدد وسماكة طبقات التبطين في أرضيات وجدران البحيرات الاصطناعية و أقنية الري، والحد من هدر المياه في حالة حدوث أية مشاكل في إحدى الطبقات . و الحيلولة دون تلوث المياه الجوفية من البحيرات ذات الطبيعة الخاصة . [بحيرات المنشآت الصناعية الكيماوية]

وكان **هدف البحث** : إيجاد العلاقات التي تربط مابين معامل النفاذية لمزيج الرمل مع البينتونايت ونسب الخلط لكل من الرمل مع البينتونايت ، و المتغيرات التي تطرأ على المواصفات الفيزيائية الأخرى :

كالوزن الحجمي و الوزن الحجمي الجاف ، وهل تحسنت المواصفات الميكانيكية

(مواصفات القص) كالتماسك و زاوية الاحتكاك الداخلي و ما هي درجة التحسن إن حدث .

وتم تقسيم هذه الأطروحة لعدة فصول:

1 ـــ الفصل الأول:

وفيه المقدمة التي تحوي أيضاً سبب اختيار البحث وأهميته وهدفه ، وفيها أيضاً أعطينا فكرة عن الدراسات السابقة التي تمت في هذا المجال في شتى أنحاء العالم .

ثم الدراسات النظرية التي تعطي فكرة مبسطة عن بعض أنواع التبطين وفوائده و تعريف الغضار والمينرالات التي تشكله ثم تعريف البينتونايت و خواصه وآلية انتفاخه وكيف يسلك مع الرمل ، ثم تم شرح مفهوم أهم خاصة فيزيائية تعنينا في هذا البحث وهي النفوذية في التربة و العوامل المؤثرة بها وطرق تحديد معامل النفوذية .

2 ـــ الفصل الثاني:

وفيه الدراسات والتجارب المخبرية التي تمت على مرحلتين :

أ ـــ تجارب الرمل قبل خلطه مع البينتونايت ومنها تجارب النفاذية والتحليل الحبي والقص المباشر والوزن النوعي والوزن الحجمي والمكافئ الرملي.

ب ـــ تجارب ما بعد الخلط: حيث تم تحديد نسب خلط وزنية محددة و متدرجة وإجراء تجارب القص المباشر وتجربة بروكتور وتجربة النفاذية على المزيج المتشكل

وتم تنفيذ هذه التجارب على كل نسب الخلط المحددة.

3 ـــ الفصل الثالث:

وقد أوردنا فيه النتائج والتوصيات ، ومراجع الدراسة .

1 ـ 2 ـ الدراسات السابقة :

في الواقع لقد جرت العديد من الأبحاث والدراسات التي اهتمت بموضوع مزج الرمل مع البينتونايت ، و إيجاد خصائص هذا المزيج الجديد ومدى الاستفادة منه في تبطين الكثير من المنشآت الهندسية ذات الحساسية العالية من حيث خطورة التسرب التي قد تحدث بها، كمكبات القمامة القريبة لحد ما من التجمعات السكنية أو مكبات النفايات النووية أو منشآت الري المختلفة وكان من أهم هذه الدراسات :

1. البحث الأول :

جرى في اليابان من قبل الباحثين:

(Hideo Komine and Nobuhide Ogata)

اهتم بمواصفات الإنتفاخ لبينتونليت الصوديوم عند خلطه بالرمل وأوجد نموذجاً رياضياً للتنبؤ بمواصفات الإنتفاخ وللتشوهات الحجمية وقارن ذلك مابين المخبر و الحقل في بناء الحواجز الكتيمة لمكبات النفايات النووية في اليابان[5] .

[لم يتطرق البحث للتغيرات التي قد تحدث في المواصفات الميكانيكية لخليط الرمل مع البينتونايت]

2 . البحث الثاني :

تم في جامعة لندن كلية العلوم المالكية قام به الباحث:

(Jolio Esteaban Montaez)

قارن هذا الباحث بين نوعين من الرمل جيد و متجانس التدرج الحبي ، وقد وجد انه في الرمل جيد التدرج لم تؤثر زيادة نسبة البينتونايت على الوزن الحجمي الجاف أثناء تجارب الرص بجهاز بروكتور ، أما في الرمل المتجانس فكلما زادت نسبة البينتونايت ازدادت قيم الرطوبة المثالية وبالتالي يتناقص الوزن الحجمي الجاف [6] .

[لم يستخدم الباحث نسب خلط البينتونايت مع الرمل أكثر من 15%]

3 ـ البحث الثالث:

للباحث :

(Yulian Firmana Arifin)

تطرق هذا الباحث إلى تأثيرات تبدلات درجات الحرارة المحيطة و الإشعاعات المنبعثة من مكبات النفايات النووية على الخليط المشكل من البينتونايت مع الرمل ومدى تأثير هذه الحرارة على مجريات تفاعل البينتونايت مع الرمل و الماء، ووجد أنه كلما زادت درجات الحرارة انخفضت قيم الإنتفاخ ، وقد وجد أيضاً أن درجات الحرارة المرتفعة نسبياً وهي أقل من 100 درجة لاتغير في بنية البينتونايت المينرالية [7].

[لم يستخدم الباحث سوى نسبة واحدة من البينتونايت مع الرمل وهي النسبة الموجودة في موقع الدراسة]

4البحث الرابع :

للباحثة : (Victoria Villar)

أي زيادة في الوزن الحجمي الجاف تزيد وبشكل طردي ضغط الانتفاخ وتزيد من تشوهات البينتونايت .[8]

[لم يتطرق إلى الخصائص الفيزيائية و الميكانيكية الأخرى]

5 . البحث الخامس :

قام بهذا الدراسة باحثان من جامعة كامبريدج:

(Tanit Chalermyanont and Surapon Arrykul)

خلص هذا البحث إلى عدة نتائج نذكر منها : معامل النفاذية له علاقة بانتفاخ مزيج الرمل مع البينتونايت وأنه كلما زاد الانتفاخ كلما نقص معامل النفاذية ، و أن استخدام نسب بينتونايت أكثر من 5% لا يقلل كثيراً من معامل النفاذية .[9]

[النتيجة مناقضة لكثير من الأبحاث التي تشير إلى أن زيادة نسبة البينتونايت تخفض من معامل النفاذية]

6 . البحث السادس :

تم في جامعة الشرق الأوسط التركية من قيل الباحث:

(Mahir Ada)

كانت النتيجة المهمة التي توصل إليها بأنه كلما زادت نسبة البينتونايت في الخليط تزداد معها قيم الوزن الحجمي الجاف (□ d max) ، وعندما تصل نسبة الخلط إلى النسبة 20% بعدها تبدأ هذه القيم بالتناقص ، وقد تمت الدراسة على أحد أكبر مكبات النفايات النووية في تركيا والقريبة جداً من البحر المتوسط .[10]

[اقتصر البحث على نوع وحيد من الرمل من حيث التدرج الحبي]

1 ـ 3 ـ الدراسة النظرية :

1 ـ 3 ـ1 مقدمة:

تبطين القنوات والبحيرات الاصطناعية :

(سوف نستعيض عن تعبير القنوات والبحيرات الاصطناعية بتعبير المشروع)

يقصد بالتبطين، إكساء أرضية المشروع الترابي بمادة ثابتة غير نفوذة أو بأي مادة شبيهة أخرى، والغرض من ذلك هو تقليل فاقد الرشح قدر المستطاع ، بالإضافة إلى بعض المنافع الأخرى التي يمكن أن يوفرها التبطين، ويمكن تلخيص هذه الفوائد بما يلي:

- **السيطرة على الرشح:**

بالتأكيد أن عملية التبطين تقلل من الفاقد المائي نتيجة للتسرب، وبالرغم من أن القناة المبطنة تكلف تقريباً من 2 إلى 2.5 مرة أكثر من القناة غير المبطنة[4]، ففي حالة وجود كميات كبيرة من الفاقد نتيجة للتسرب، فإن عملية التبطين في مثل هذه الحالة تعطي مردوداً اقتصادياً كبيراً ، خاصة كونها توفر جزءاً كبيراً من الماء الذي عادة لا يقدر بثمن.

- **منع تشبع الأراضي الزراعية:**

يسبب عادةً التسرب من المشاريع المائية ارتفاعاً ملحوظاً في الماء الأرضي في الأراضي الزراعية المحيطة بهذه المشاريع ، وهذا يؤدي إلى انتقال الأملاح القلوية لسطح التربة التي بدورها تجعل الأرض غير صالحة للزراعة. وهذه العملية تدعى تغدق (تشبع) الأراضي [4] ، فتبطين هذه المشاريع يمنع التسرب ويحافظ على التربة الزراعية.

- **زيادة سعة القناة:**

يمكن زيادة سعة القناة بواسطة التبطين، فالقناة التي يكون سطحها مبطن وناعم تبدي مقاومة أقل لجريان الماء فيها، فبالتالي يتدفق الماء بسرعة أكبر، أي أن التصرف يكون اكبر مقارنة مع القناة غير المبطنة[4]، وعادة تتم إعاقة تدفق المياه في القنوات غير المبطنة بواسطة الأعشاب النامية في أرضية القناة وجوانبها. فالتبطين يزيد من سعة القناة، وبالتالي يقلل من مقطع القناة، وبذلك تكون أبعاد

مقاطع القنوات في المشاريع الجديدة اقل، وبالتالي تقلل من الأعمال الترابية عند حفرها. وهذا يؤدي إلى الوفر الكبير في أعمال الحفر والردم وكذلك في المساحة الزراعية.

- **المحافظة على المياه الجوفية :**

هذه إحدى الفوائد المهمة من فوائد العناية بتبطين البحيرات الاصطناعية ذات الطبيعة الخاصة ، التي تنشأ غالباً في المعامل و المنشآت الصناعية الضخمة التي تقوم بتجميع مخلفاتها السائلة في بحيرات كبيرة ، فإن أي تسرب قد يحدث من هذه البحيرات يؤدي إلى وصول هذه المخلفات الخطيرة إلى المياه الجوفية ، وهذا أيضاً ينطبق على البحيرات الاصطناعية الخاصة بتجميع مياه المجاري بالقرب من التجمعات السكنية .

أنواع التبطين :

- **التبطين بالحجارة:**

تعتبر هذه من أقدم الطرق المستخدمة في أعمال التبطين، وعادة توضع الحجارة إما بدون خلطة أو باستعمال خلطة لغرض زيادة قوة التماسك، ففي الحالة الأولى تستخدم الحجارة مع نوع آخر من مواد التبطين كالجيومبيران مثلاً . وعادة تستخدم هذه الطريقة عند توفر المواد المطلوبة وتوفر الأيدي العاملة الرخيصة [4].

- **التبطين بالبيتون :**

من أفضل طرق التبطين، لأنها يمكن أن تنقل الماء بسرعات عالية ، و تقلل من تكاليف إنشاء مقاطع القنوات، علاوة على أنها تقلل أو تمنع نمو الأعشاب، وإذا عني بتصميمها وتنفيذها فهي قد تدوم لفترات طويلة قد تصل إلى 40 سنة أو أكثر. وهي إما من البيتون المسلح أو البيتون العادي ،وتنفذ

إما بصب البيتون في الموقع أو ببلاطات مسبقة الصنع ويستخدم أحياناً البيتون المقذوف.

- **التبطين بالأغشية (الجيوميبران):**

تبطن المشاريع بأنواع مختلفة من الأغشية المطاطية أو البلاستيكية بسمك من 0.2 – 1.0مم، توضع هذه الطبقات على أرضية وجوانب هذه المشاريع وتدفن نهاياتها بالتراب وترص في مكانها، وهذه الطبقات تتحمل أشعة الشمس الشديدة وثقل الأقدام، ولكن يفضل أن تغطى بطبقة من التربة بسمك 15 سم، وأحياناً تستخدم تحت البيتون لمنع التسرب، أو مع مواد تبطين أخرى . الشكل (1-1)

- **التبطين بتربة محسنة:**

وهذه عبارة عن تربة إما محسنة بالرص ، وهي غالباً التربة التي ينفذ عليها المشروع إن كانت قابلة للرص .أو يتم تحسينها بإضافة مواد معينة كالبينتونايت مثلاً

تتم عادة إضافة البينتونايت للتربة كالآتي:

أ – تدرس التربة الرملية المراد تحسينها وتعرف خواصها اللازمة .

ب – من معرفة أبعاد أرضية المشروع تحسب كمية البينتونايت المضافة حسب النسبة المثلى .

ج – تقسم الأرضية لمسطحات محددة المساحة لسهولة العمل .

د – ثم تفتت التربة المراد تحسينها .

ه – يتم رش البينتونايت على هذه المساحات الشكل (1-2) ويخلط مع التربة بمعدات خاصة .

و – ترطب التربة المخلوطة للرطوبة الأصولية المطلوبة .

ز – والمرحلة الأخيرة هي رص التربة الجديدة بالمداحي حتى درجة الرص المثلى [4].



الشكل (1−1) تبطين إحدى القنوات بالجيوميبران فوق التربة المحسنة



الشكل (1−2) رش البينتونايت وخلطه مع التربة المراد تحسينها

بعد أن استعرضنا بعض طرق التبطين المنتشرة ، ننوه إلى أن ما يحدد نوعية البطانة التي ستستخدم في أي مشروع هو المردود الاقتصادي أولاً ومن ثم توفر إمكانية التنفيذ والأهم من ذلك نوعية التربة الموجودة على مسار المشروع أو في مكان تنفيذه .

و من الأفضل حسب اعتقادي تحسين التربة بالبينتونايت (التربة ذات النفوذية العالية إن وجدت في مكان ما من أرضية المشروع) ، و ذلك سواءً استخدمنا البيتون أو الجيوميبران أو الحجارة في تبطين هذه الأرضية ، خشية أي عيب أو مشكلة قد تحدث في هذه المواد المذكورة ومنها :

ـ إهتراء أو تمزق طبقة الجيوميبران المستعمل لأي سبب قد يكون أثناء التنفيذ أو أثناء الاستثمار . الشكل (1-3)

ـ نمو النباتات و الحشائش في الأرضيات التي تسمح بذلك مما يسبب إعاقة في حركة المياه وسرعة تدفقها .

ـ قد تحدث بعض التشققات في البيتون المستخدم تؤدي لتسرب كميات كبيرة من الماء .

ـ وجود بعض الجيوب التي تحوي مواد كيميائية تنحل بالماء كالجبس مثلاً .



الشكل (3-1) اهتراء الجيوميبران أثناء الاستثمار

1 ـ 3 ـ 2 تكوين التربة:

التربة كما نعلم هي نظام مشكل من ثلاثة أطوار الصلب والسائل والغازي.

وقد يختلف الطور الصلب ما بين الطبيعة المينرالية أو الطبيعة العضوية فالطبيعة المينرالية تتكون من مجموعة جسيمات مختلفة الأشكال والتركيب الكيميائي وأحجامها تتراوح ما بين الحصى والرمل والسيلت والغضار الناعم.

أما الطور السائل فهو السائل الذي يملأ كل أو جزء من المسامات بين جسيمات المادة المينرالية الصلبة، وتختلف طبيعة هذا السائل حسب مكان وجود التربة والبيئة المحيطة بها.

وأخيراً الطور الغازي وهو غالباً الهواء الذي يملأ المسامات التي لم تمتلئ بالسائل المشار إليه بالطور السائل.

إن الخواص الميكانيكية للتربة تعتمد على التفاعلات بين مكونات المينرال

- **ـ الرمل والسيلت:**

إن أشكال الجزيئات لكل من الرمل والسيلت يمكن أن توصف بأنها ذات زوايا حادة ومستديرة الشكل [6]، وهذه الجزيئات تحتوي على مينرالات أساسية كالكوارتز والفلدسبار حيث يتمتع الكوارتز ببنية صلبة نسبياً والتي تمثل استمرار وجود الكوارتز في التربة أما الفلدسبار فهو ذو بنية مفتوحة مع روابط منخفضة بين وحداته.

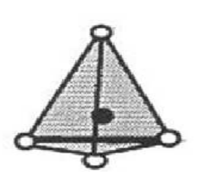
- **ـ الغضار:**

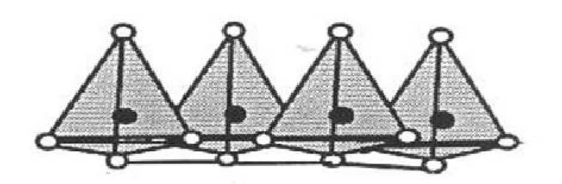
ينشأ الغضار من تعرية الصخور البلورية والصفائحية ومن نواتج البراكين والرماد البركاني، و هو عبارة عن سيليكات الألمنيوم المائية التي لا تزيد أبعادها عن ٢ ميكرون . فالمادة الأساسية في تركيب الغضار هي سيليكات الألمنيوم Al2O3 SiO2 . H2O

أما العناصر التي تشكل هذه المينرالات فهي: السيلكون، الألمنيوم والحديد والماغنسيوم بالإضافة إلى ذرات الأوكسجين والهيدروكسيل وهناك وحدتان أساسيتان هما المسؤولتان في بناء مينرالات الغضار أولاهما هي رباعي وجود السيليكون والتي بها تكون ذرات الأكسجين مرتبة بطريقة أن كل واحدة تشكل زاوية في رباعي الوجوه وتمسك بعضها بعضاً بواسطة ذرة سيلكون في المركز.(Si^{+4})

○ أوكسجين

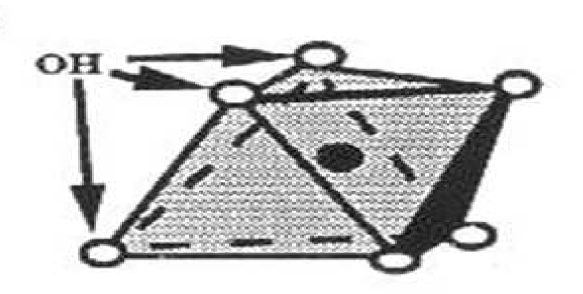
• سيليس





الشكل (1) رباعية الوجوه السيلكاتية

أما الوحدة الثانية فهي الألومينات وهي عبارة عن بناء ذري مثمن الوجوه فيه 6 مجموعات من الهيدروكسيل (oH) أو الأكسجين مرتبة بطريقة تشكل كل منها زاوية لسطح وترتبط بالسطوح مع بعضها البعض بذرة الألمنيوم الموجودة في المركز الشكل (2).



○ هيدروكسيل

● ألمنيوم

الشكل (2) الوحدة الألومينية. ثمانية الوجوه السيلكاتية

ومن أجل تشكيل مينرال الغضار تتم الخطوات التالية:

تتحرك مجموعة الهيدروكسيل (oH) وتتوضع صفائح السيلكا في الجزء العلوي من صفيحة ثماني السطوح لذلك فإن ذرات الأكسجين المتوضعة في القمة تحتل المواضع المقابلة لها [6]..

وهاتان الصفيحتان تمسكان بعضهما البعض بتقاسم ذرات الأكسجين التي هي على قمم رباعي الوجوه السيلكاتية، والآن نرى أن الألمنيوم في كل ثماني وجوه تحيط به أربع مجموعات من الهيدروكسيل وذرتان من الأكسجين. في القمة نجد سيلكات الأكسجين وفي الأسفل طبقات الهيدروكسيل والهيكلية الناتجة عن هذا التركيب هي الشبكة البلورية لمينرال الغضار.

إذاً الآن قد علمنا بأن بنية الغضار هي عبارة عن هذه الصفائح التي تشكلت من ارتباط هذه الوحدات مع بعضها البعض .

ويقسم تركيب الغضار حسب بنيته المينرالية إلى المينرالات الثلاث الأساسية التالية :

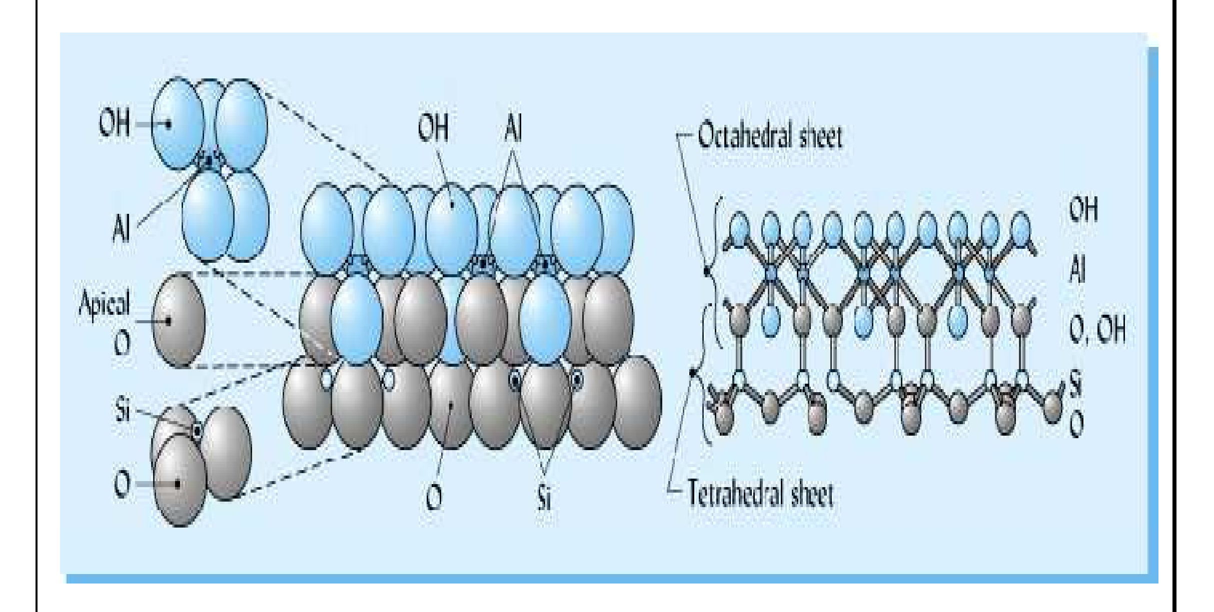
قبل الحديث عن المينرالات لابد أولاً من أن نتعرف على العامل المميز لمينرالات الغضار المختلفة هو نسبة أكسيد السيليكون إلى أكسيد الألمنيوم أو أكسيد الحديد ، وتكتب كالتالي : $C = SiO2 / R2O3$ حيث R هي AL أو Fe وإن ارتفاع هذه النسبة يدل على فعالية ونشاط الغضار فهي في **المنتموريللونيت** (c > 4) وفي **الكاؤولينيت** (c =2) [3].

آ ـ الكاؤولينيت: Kaolinite

الصيغة العامة لهذه المجموعة هي *Al2O3 nSiO2 mH2O*

حيث : *C = SiO2/Al2O3= 2* *m =2..4* *n =2..3*

ويتركب من شريحة مفردة من السيلكا الرباعية ملحق بها شريحة مفردة من الألمنيوم الثمانية وهو موضح بالشكل (3).



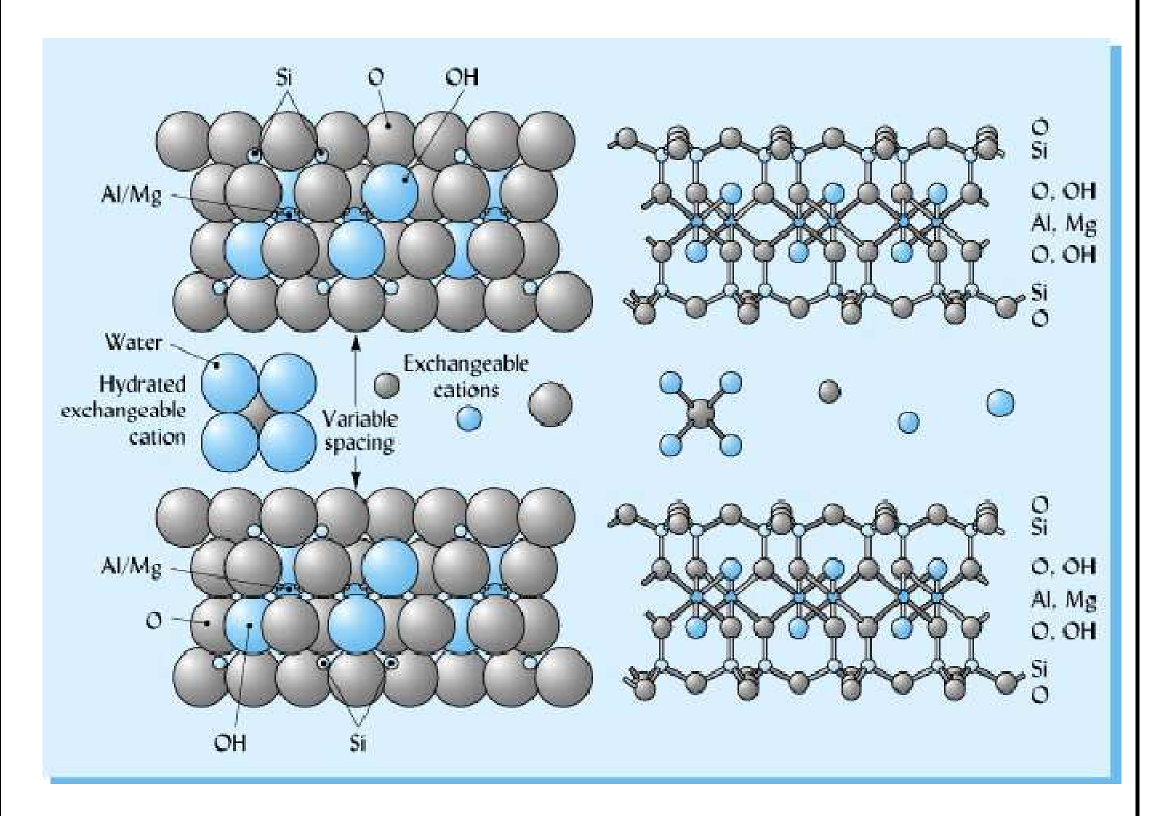
الشكل (3) بنية مينرال الكاؤولينيت

يمتاز هذا المينرال بكبر حجم حبيباته وبصغر سطحه النوعي ويبدي تماسكاً أقل ولدونة أقل ويلاحظ من صيغته الكيميائية أنه محايد كهربائياً. لكنه يفقد بعض ذرات (oH) عندما تكون ضمن الماء فتصبح حباته ذات شحنة سالبة تجذب إليها شاردة موجبة من الماء، ومن هذه المجموعة نعرف غضار الكاولين وهو ما يعرف بغضار الخزف الصيني.

ب ــ الإيليت: Illite

تركيبه من شريحة مفردة من الألمنيوم الثمانية الملتصق بها شريحتين من السيلكات الرباعية ويوجد بين هذه الصفائح السيلكاتية عنصر الصوديوم، وتعطى الصيغة الكيميائية للايليت: *AL4Si2ALO2O(oH)4KO2*.

إن هذا الترابط بين الصفيحات يعود لقوة فاندرفالس وهو أقل شدة من الرابطة الهيدروجينية بين صفحات الكاولينات ولكنه أكثر ثباتاً من مجموعة المونتموريللونيت المشابهة في البنية والمغايرة في طبيعة الشوارد المنجذبة [3]، وتعتبر صخور الميكا هي المصدر الرئيسي للإيليت ومن هنا جاءت تسميته بالغضار الميكائي. بنيته موضحة بالشكل (4)



الشكل (4) مينرال الإيليت

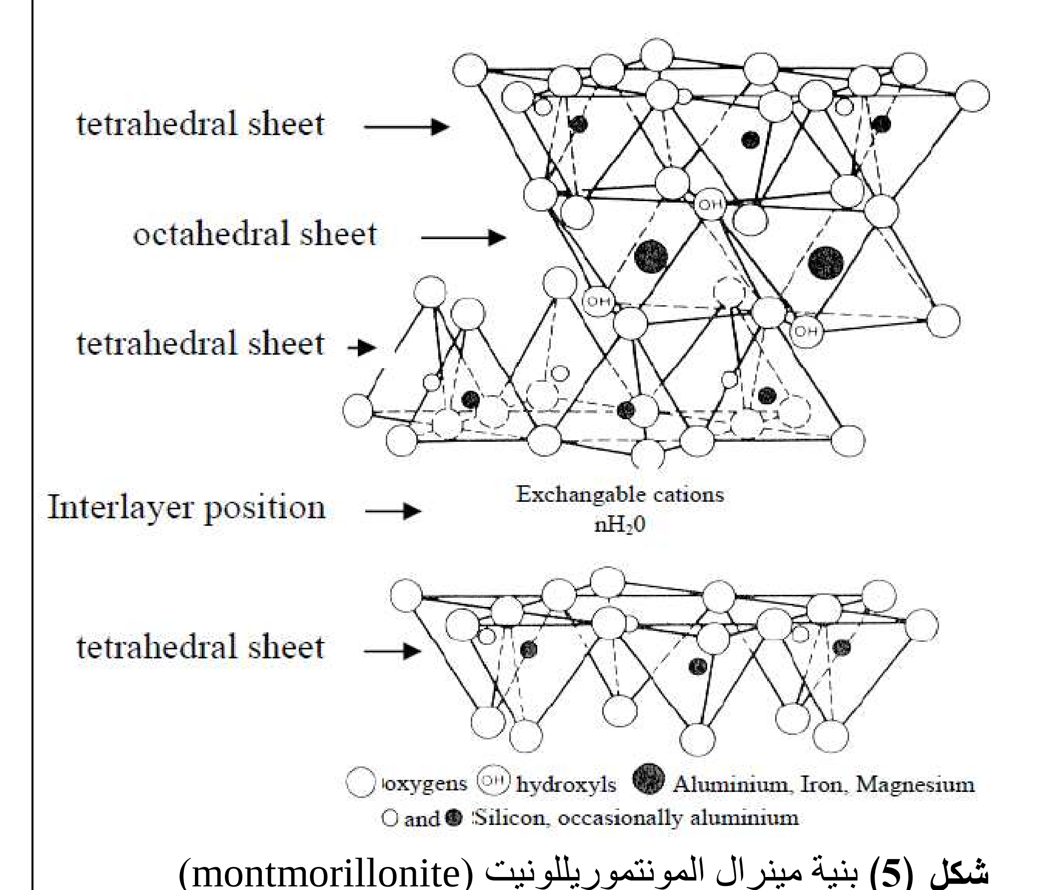
ج ــ المنتموريللونيت: .montmorillonite

صيغته العامة $AL_3, 5Mgo, Si_8O_2O(oH)_4$

ويتكون من وحدات صفائحية كالإيليت وتربط بين هذه الصفائح قوى فاندرفالس الضعيفة بالمقارنة مع روابط الهيدروجين شكل (5) ويحدث في وحداته كثير من التبادل الشاردي حيث تحل شاردة (AL) محل (Si) في وحدة السيلكا وتحل شاردة (Mg) محل (AL) مما يؤدي لتكوين شحنة سالبة.

وتقوم الشوارد الموجبة الموجودة في الماء مثـل (K^+, Ca^{++}, Na^+) بإشـباع معظم الشحنة السالبة وتتجذب على الصفحات لكنها لا تلتصق بها بـل تبقـى دومـاً عرضة للتغيير.

ويتشكل المونتموريللونيت من تعرية المركبات الحديدية المنغنيزية وخاصة في المناطق القارية، ويعتبر المونتموريللونيت هو العنصر الأساسـي المشـكل لغضـار البينتونايت .



شكل (5) بنية مينرال المونتموريللونيت (montmorillonite)

تختلف فعالية كل نوع من أنواع مينرالات الغضار حسب عدة عوامل منها السطح النوعي الذي يتعلق بشكل مباشر بنعومة الجزيئات ، ويعتبر السطح النوعي Specific gravity مواصفة هامة لدرجة نعومة الجملة المبعثرة ومحدداً لأغلب خواصها السطحية [1] ومن ملاحظة الفارق الهائل بين السطح النوعي لكل من مينرالي الكاؤلينيت و المونتموريللونيت ، حيث يبلغ السطح النوعي للأول حوالي (m²/g 20 – 10) ويبلغ السطح النوعي للثاني (800 m²/g) نلاحظ أنه حتماً سيكون هنا لك فارق كبير بين خصائص كل منهما .

- **الماء في الغضار :**

يمكن أن يوجد الماء في الغضار على عدة أشكال :

١ -الماء الحر أو ماء الرطوبة : إن هذا الماء يوجد في الغضار ضمن كهوف الشبكة البلورية،وتسمى أحياناً المياه الزيوليتية [3] ، حيث يمكن طرد هذه المياه بسهولة بتبخيرها لدرجة حرارة(105 C) ضمن عملية التجفيف وإن المياه المتبخرة تمثل النقص في وزن العينة المجففة وذلك قبل وبعد عملية التسخين.

٢ -المياه المرتبطة : هذه المياه توجد في الغضار بالشكل الهيدروكسيلي أي في جزيء (OH) إن شوارد الهيدروكسيل تدخل في بناء بلورات الفلز ، ولا يمكن طرد الماء دون تحطيم هذا الفلز وذلك بالتسخين لدرجة حرارة أعلى من (600 C) [3] وتختلف هذه الدرجة من فلز لآخر.

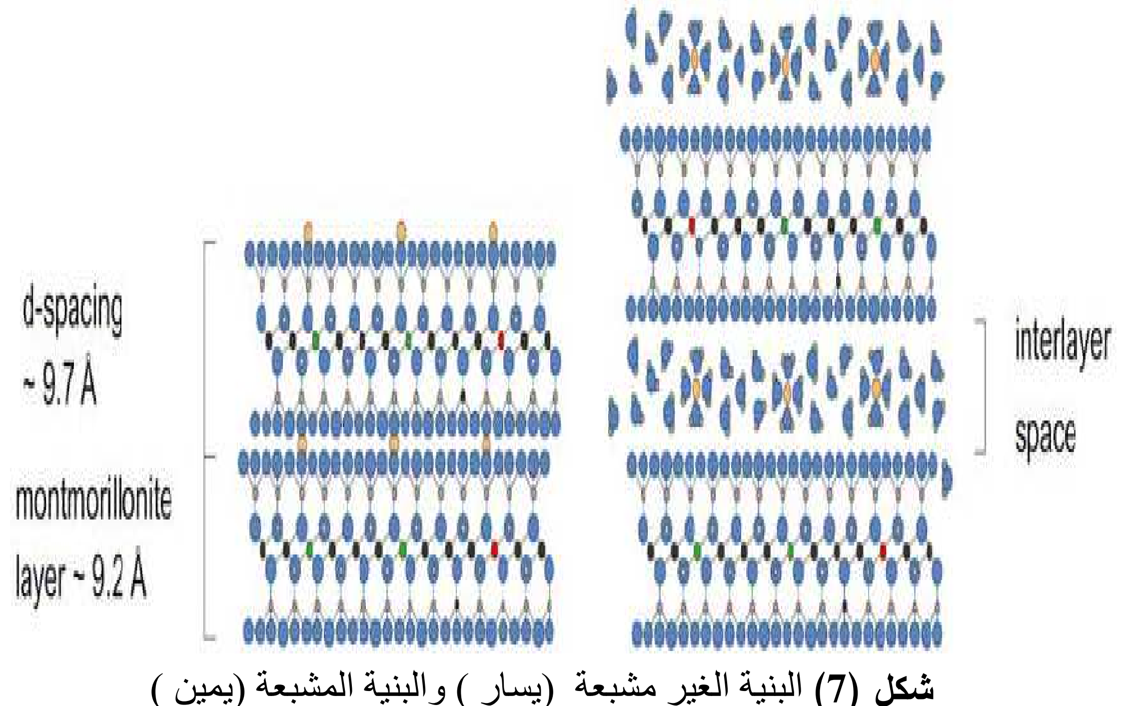
٣ -المياه الادمصاصية : تكون هذه المياه مرتبطة بالسطوح البلورية وقمم وحواف الهيكل البلوري بشكل قطبي ، وتزداد نسبة هذه المياه في البلورات الدقيقة (بسبب زيادة سطحها النوعي) وتستخرج هذه المياه بالتسخين ضمن درجة الحرارة (100 C – 600 C)

1 ـ 3 ـ 3 ـ البينتونايت: BENTONITE

مصطلح يصف الغضار المكون بشكل رئيسي من مينـــرال المونتموريلونيـــت وهو بالأغلب قد تشكل من تجوية الرماد البركاني [11] ، ويأخذ معظم خصائصه من خصائص هذا الميئرال ، و يتميز كما ذكرنا سابقاً بكبر سطحه النوعي .

البينتونايت غضار قابل للانتفاخ بشكل كبير ، ونظراً لتركيبته الكيميائية الخاصة فهو يحمل صفات التشوهات اللدنة ولا يسمح للمياه بحرية النفاذية من خلالـــه [12]، لكن الخاصية الأهم له هي خاصية انتفاخه عند تعرضه لزيادة في نسبة الرطوبة حيث يزداد حجمه عدة أضعاف.

في الشكل رقم (7) نلاحــظ الفـــارق بـــين البنيتـــين المجهـــريتين لمينـــرال المونتموريلونيت قبل الإشباع وبعده [5] ونلاحظ الزيادة التي حصلت في حجم الطبقة البينية التي بدورها تؤدي للزيادة في الحجم كما أسلفنا .



شكل (7) البنية الغير مشبعة (يسار) والبنية المشبعة (يمين) لمينرال المونتموريللونيت

ولميزات البينتونايت الانتفاخية فإن أهم استخداماته في مجال ميكانيك التربة هي :

1 ــ يستخدم كمادة لاصقة.

2 ــ يستخدم كمادة تملأ فراغات التربة.

3 ــ يستخدم كمادة ماصة.

يستخرج حالياً البينتونايت من أكثر من 43 دولة حول العالم بكمية تصل لحوالي15: m t/year [6].

أما من الناحية الجيولوجية فإن للبينتونايت مصدرين أساسيين أولهما هو الغبار البركاني والذي تعرض لعمليات معالجة طبيعية تحت الأرض وهو المصدر الأكثر شيوعاً والمصدر الثاني هو الصخور البركانية والتي تعرضت لمعالجة مائية حرارية تحت المحيطات.

وبناء على عمليات تشكل البينتونايت ومراحل تشكله فإن البينتونايت يختلف من مكان لآخر وتختلف مواصفاته [7] ومن جهة أخرى فإن شدة وموضع الطبقات المشحونة تؤثر على خصائص انتفاخ البينتونايت وإن شحنة الأيونات الموجبة المكافئة والتي هي في البينتونايت الطبيعي عبارة عن خليط من كل من الأيونات أحادية وثنائية التكافؤ فالشحنة الموجبة المسيطرة هي غالباً ما تستخدم لوصف نوع البينتونايت ، ومن هنا جاءت تسمية كلا نوعي البينتونايت فهو إما بينتونايت صوديوم أو بينتونايت كالسيوم، فالجزيئة الواحدة هي مصنوعة من 3 ــ 5 طبقات أولية في البينتونايت صوديوم ومصنوعة من 10 ــ 20 طبقة أولية في البينتونايت الكالسيوم [8].

للبينتونايت عدة خواص ينفرد بها عن غيره من أنواع الغضار نذكر منها :

أ ــ آلية الترطيب وأهمية الترطيب بين الصفائح:

في البينتونايت تكون قوى الشد (هي القوى الكهربائية الساكنة) التي تربط الصفيحات غير كافية من أجل منع دخول الماء إلى الفراغ بين الصفائح، وإن محرك الترطيب بين الصفائح هو حاجة الشوارد المتوضعة على سطح الصفيحة للماء.

وحيث أن لجزيئة الماء قطبين موجب وسالب فإن القطب السالب يُجذب من قبل الشوارد الموجبة الموجودة على السطح[8]، وهكذا فإن ترطيب البينتونايت يقودنا إلى التمييز بين الماء الموجود بين صفائح الغضار والماء الموجود بين حبات الغضار.

وبما أن البينتونايت هو كالسيوم أو صوديوم فإن لكل نوع رد فعل مختلف أثناء الترطيب، ففي حالة النظام الكلسي يؤدي الترطيب إلى تباعد الصفائح بشكل خيف، وبخطوة توافق دخول حتى 4 طبقات ماء، فمهما كانت رطوبة العينة فإن المسافة العظمى بين صفيحتين من نفس حبة الغضار ستبقى محدودة وتسمح بدخول فقط 4 طبقات ماء، وهو ما يعادل تقريباً مسافة بين الصفائح قريبة من (2.16 nm) وبالمقابل فإن الصفائح في النظام الصودي يمكن أن تتباعد أكثر من هذا الحد مع ملاحظة أن الترطيب بين الصفائح ينتج من خلال مرحلتين:

ـــ المرحلة الأولى:

هي عبارة عن طبقة بطبقة كما في البينتونايت كالسيوم وعندما يستمر الترطيب فإن المسافة تزداد من 2.16 nm ← 4 nm وبعد هذا التحول تتباعد الصفائح بشكل متصاعد بما يتناسب مع نسبة الرطوبة. هذا التغيير يوافق تشكل الطبقة المضاعفة للماء.

ـــ المرحلة الثانية:

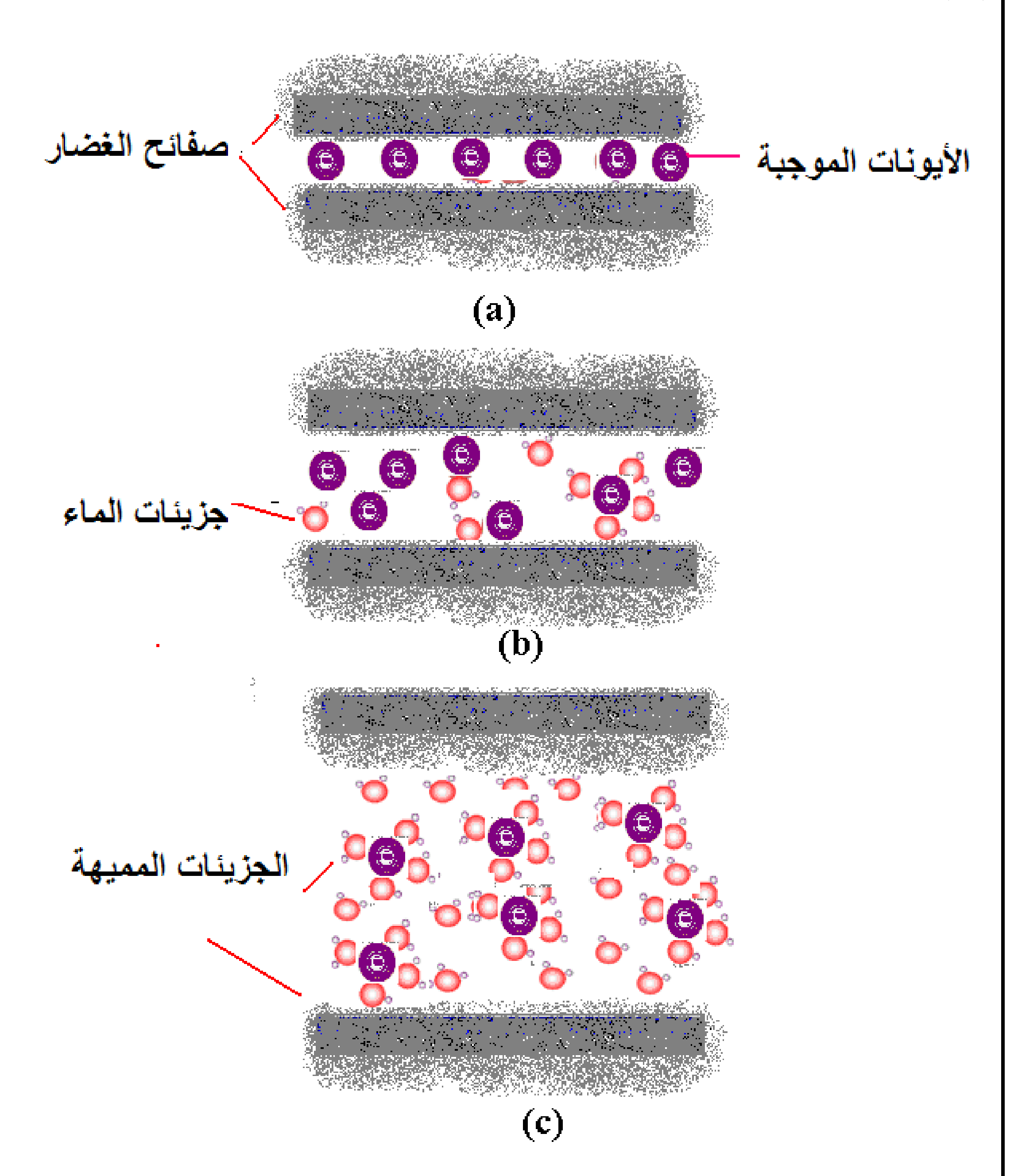
عندما نصل لقيم أكبر فإن البينتونايت يتصرف كما لو أنه جل Gel وبالتالي فإن الماء الممتص بين الصفائح يحتوي على طبقتين.وهذه الطبقة المضاعفة هي المسؤولة عن عدد كبير من خصائص نظام المونتموريللونيت مع الماء[12]، من تماسك ولدونة وانتفاخ، وطبيعة الشوارد القابلة للتبادل المتوضعة على سطح الصفائح لها أيضاً تأثير مهم على الانتفاخ وامتصاص الماء.

ب ـــ انتفاخ البينتونايت:

ب ـــ 1 ـــ انتفاخ البنية البلورية:

بعد إضافة الماء فإن جزيئاته تتوغل ما بين صفائح البينتونايت عبر الشقوق الصغيرة جداً بين البلورات . بعد عملية التوغل إلى الداخل ، يقوم الماء بإبعاد البلورات الأفقية عن بعضها البعض ويسهل عملية توغل الماء الأوكسجيني الموجود في الوريقتين

الأولى والثالثة [10] ، وبفضل قوى التجاذب والتنافر بين الماء والغضار تزداد المسافة بين الصفائح ويزداد حجمها ويحدث ما يسمى بانتفاخ البنية البلورية . الشكل (8) .



الشكل (8) يبين مراحل الانتفاخ في الطبقة البينية

(a) : الحالة الجافة . (b) : بعد إضافة الماء بقليل (c) : المرحلة المتقدمة من التميه وقد ازداد عدد جزيئات الماء وتنافرت الأيونات عن بعضها مما أدى للتوسع بين الصفائح

ب ـ 2 ـ الانتفاخ التناضحي Osmosis (انتفاخ الطبقة المزدوجة):

يحدث هذا غالباً في بينتونايت الصوديوم حيث تتشكل طبقات إضافية قد تصل لحوالي 40 طبقة وذلك لأن قوى التجاذب الكهربائية الساكنة لشاردة الصوديوم Na^{+} هي أقل من قوى التجاذب لشاردة الكالسيوم Ca^{++} وبما أن اختلاف التركيز بين المحلول الداخلي (ضمن الفراغات بين الصفيحات) والمحلول الخارجي هو القوة الحركة الأساسية للانتفاخ وبما أن شوارد الصوديوم Na^{+} ساكنة كهربائياً وتركيزها عالي فإن كمية إضافية من الماء هي القادرة على إحداث التوازن في التركيز [10].

وهكذا تنتقل شوارد الصوديوم من موقعها على السطح الميزالي الغضاري وتشكل طبقة الماء المضاعفة التي قد تصل سماكتها لحوالي 100 nm.

ومن هنا نفهم الفرق بين الانتفاخ الحر بين البلورات في البينتونايت الكلسي والبينتونايت الصودي ففي الأخير يحدث انتفاخ بين البلورات أولاً ثم يتبعه انتفاخ تناضحي يصل فيه الحجم من 8 ـ 15 مرة من الحجم الأولي بينما يحدث انتفاخ وحيد بين البلورات فقط في البينتونايت الكلسي فيزداد الحجم فقط من 2 ـ 4 مرات من الحجم الأولي.

ج ـ نفاذية البينتونايت:

عندما يتعرض البينتونايت المرصوص لأي محلول ملحي مركز فإن السائل سوف ينفذ مستجيباً لخاصية التدرج التناضحي.وهنا تسلك التربة سلوكاً كما لو أنها غشاء شبه نفوذ وسينفذ الماء إلى منطقة التركيز الأعلى أو المتوسط.

ولكن نظراً لعدم وجود غشاء شبه نفوذ حقيقي في التربة ، فإن الماء سوف ينفذ إلى منطقة التركيز المتوسط والأقل [9].

وإن الدرجة التي تسلك بها التربة سلوك الغشاء شبه النفوذ تعرف بما يسمى المردود التناضحي وهذا يعتمد بشكل على كيميائية السائل المسامي وتركيزه وعلى نسبة الفراغات.

ويختلف المردود التناضحي هذا من نوع لآخر من أنواع البينتونايت فهو أعلى في نوع البينتونايت الصوديوم منه في البينتونايت الكالسيوم وهذا يعني أن البينتونايت الكالسيوم هو أكثر نفاذية من البينتونايت الصوديوم[9].

1 ــ 3 ــ 4 جريان الماء في التربة ومبدأ النفاذية:

❖ ــ **مقدمة:**

إن جريان الماء في التربة يتبع لخواص هذه التربة وقابلية نفوذيتها، وتعرف قابلية النفوذية بأنها الخاصة التي تسمح للماء بالمرور ضمن التربة والجريان فيها، وبشكل عام فإن كل مادة تحوي نسبة من الفراغات تعد مادة نفوذة، فالبيتون مثلاً والصخر والرمل والغضار كلها مواد نفوذة ولكن بدرجات متفاوتة.

فما هي الأسباب التي تؤدي لحدوث جريان الماء في التربة؟

1 ــ وجود مستوى مائي على طرفي كتلة ترابية بحيث يكون أحد هذين السطحين الحرين للماء أعلى من الآخر فبفعل قوى الجاذبية التي تحاول مساواة الفرق بين السطحين يحدث حالة من التسرب (Seepage).

2 ــ تطبيق ضاغط معين على التربة يؤدي إلى زيادة الضاغط المائي في المسام فوق قيمته في الحالة الساكنة مما يسبب نزوح الماء من التربة أو جريانه فيها [12].

❖ ــ **تعاريف:**

- ــ الضاغط الهيدروليكي:

يعطى الضاغط الهيدروليكي (h) في نقطة ما بالعلاقة:

$$h = z + \frac{u}{\gamma_w} + \frac{v^2}{2g}$$

z: ارتفاع النقطة المدروسة عن مستوى المقارنة.

u: الضاغط الهيدروستاتيكي في النقطة المدروسة.

v : السرعة .g: تسارع الجاذبية الأرضية.

- ـــ الميل الهيدروليكي :

$$i = \frac{dh}{dL}$$

dh: مقدار الضاغط الهيدروليكي الموافق لمسار جزيئات الماء.

dL: طول مسار جزيئات الماء.

- ـــ قانون دارسي:

اكتشف العالم الفرنسي Henri Darcy سنة 1856 معادلة تجريبية تصف تدفق الماء في التربة سميت بقانون دارسي Darcy's Law

حيث يصف هذا القانون حركة الماء في التربة وينص على أن «كمية الماء التي ترشح خلال مقطع معين من التربة، تتناسب طرداً مع مساحة المقطع مقدار الضاغط الهيدروليكي والزمن وتتناسب عكساً مع طول مسار الرشح» [1].

فإذا كانت مساحة مقطع العينة (A) وكمية الماء المار خلال هذه المساحة في الزمن (t) تساوي (V) فتكون العلاقة حسب قانون دارسي:

$$V = f\left(A, \frac{h_2 - h_1}{L}, t\right)$$

$$V = f(A, I, t)$$

وبتبديل التناسب بمعامل التناسب نحصل على:

$$V = K \cdot A \cdot i \cdot t$$

حيث K: هو معامل النفاذية coefficient of permapility.

بتقسيم كمية الماء الراشحة على زمن الرشح نجد غزارة الرشح:

$$Q = \frac{V}{t}$$

وبتقسيم الغزارة على مساحة المقطع نجد السرعة:

$$v = \frac{Q}{A}$$

ومن هنا نحصل على الصيغة الثانية لقانون دارسي:

$$v = K . i$$

«تتناسب سرعة الرشح طرداً مع التدرج الهيدروليكي» ويكون معامل النفاذية هو ميل المستقيم المرسوم بالعلاقة بين سرعة الرشح v والميل الهيدروليكي i.

❖ ــ **العوامل المؤثرة على نفاذية الترب:**

- ــ التركيب الحبي:

دلت التجارب والأبحاث على أن للتركيب الحبي دور كبير في تحديد قيمة معامل نفاذية التربة فهو في التربة الرملية أعلى بكثير من الترب الغضارية وأن نفاذية التربة الرملية ذات الحبيبات الدائرية الشكل أعلى منها في الترب الرملية ذات الحبيبات الحادة والمسطحة الشكل [2].

وتنخفض قيمة معامل النفاذية مع ازدياد نسبة المواد الناعمة في التربة.

- ــ المسامية:

كلما زادت المسامية يتبعها زيادة في معامل النفوذية وهذا أمر بديهي نظراً لازدياد حجم الفراغات في التربة عن حجم الأجزاء الصلبة فيها مما يسهل مرور الماء فيها.

- ــ البنية:

تؤثر البنية بمختلف أنواعها على نفوذية التربة فقد دلت قياسات معامل النفاذية التي أجريت على عينات سليمة البنية وأخرى مضطربة على اختلاف واضح في القسم بين الحالتين ولو كان للعينات نفس الصفات الفيزيائية، وكانت قيم معامل النفاذية أقل في العينات السليمة منها في العينات المضطربة.

- ــ حرارة الماء والمواد المنحلة فيه:

فعند ازدياد درجة حرارة الماء تنخفض لزوجته مما يزيد من سرعة الرشح وتكون العلاقة بين لزوجة السائل ومعامل النفاذية لعينتين من الماء بلزوجتين مختلفتين:

$$\frac{K_1}{K_2}=\frac{\eta_1}{\eta_2}$$

حيث: K: معامل النفاذية. η: اللزوجة.

فيكون التناسب عكسياً أي كلما زادت اللزوجة من η1 ← η2 (تحت تأثير انخفاض الحرارة) تتناقص قيمة معامل النفاذية من K1 ← K2 ومن جهة أخرى فإن نوع الشوارد الموجودة في الماء له تأثير ملاحظ على نفوذية التربة فمثلاً تساعد شوارد الصوديوم على زيادة سماكة الماء المتصل بالجزيئات الميترالية في التربة لذلك فإن نفوذية التربة في حالة وجود شوارد الصوديوم أقل منها في حال وجد شوارد البوتاسيوم أو الكالسيوم.

❖ **ـ المتحولات التي تؤثر على النفاذية في الموقع:**

◄ ـ تمثيل القياسات والحجم المعبر:

إن قيم معامل النفاذية المقاسة في المخبر أقل من القيم المقاسة في الحقل لنفس التربة لأن العينات المخبرية لا تعبر عن الواقع بشكل جيد بسبب اختلاف البنية بين الحالتين لأن عينات المخبر لها تأخذ بعين الاعتبار شقوق الجفاف ومستويات الانزلاق أو أي أمر آخر يؤثر في حركة الماء.

وتكون المعينات المخبرية مرصوصة بطريقة مختلفة عن رص الواقع وهي تحدد اتجاهاً معينة للجريان وهذا غير موجود بالواقع.

◄ ـ المسامية:

تعطى العلاقة بين المسامية ومعامل النفاذية بالمعادلة:

$$K=\frac{n^3}{C.T^2.S_0^2(1-n)^2}$$

حيث: n: مسامية التربة.

S0: سطح التماس مع السائل ويؤخذ مساوياً للسطح النوعي.

T: ثابت يعبر عن عامل الخشونة وهو أكبر أو يساوي $\sqrt{2}$

C: عامل الشكل للمسامات وهو ما بين 2 ــ 5.

◀ ــ نسبة الجزء الخشن:

بحالة الترب المنقولة من المستحيل تجزئة المواد بشكل كافي من أجل رصها وتظهر على شكل كتل، وإن معالجة سيئة لهذه الكتل عائدة لطاقة رص غير مناسبة يمكن أن تؤثر بشكل حساس على النفاذية.

❖ ــ طرق تحديد معامل النفاذية:

إن لمعامل النفاذية و طرق تحديده أهمية كبيرة عند دراسة الكثير من المنشآت الهندسية كالسدود وقنوات الري والبحيرات الاصطناعية وغيرها. لهذا يجب توخي ما أمكن من الدقة عند تحديد قيم معامل النفاذية وهناك طرق مخبرية وحقلية وحسابية لتحديد قيم معامل النفاذية[1].

◀ الطرق المخبرية :

تعتمد الطرق المخبرية لقياس معامل النفاذية لعينة التربة على جهازين الأول هو جهاز الرشح ذي الضاغط الثابت و الثاني هو جهاز الرشح ذي الضاغط المتغير .

ويستخدم النوع الأول في التربة ذات الحبيبات الخشنة و النوع الثاني في التربة الناعمة (الغضار) [1]

أما مبدأ عمل الجهاز ذي الضاغط الثابت فهو كما يلي:

يتألف الجهاز المذكور من حوض رئيسي يحافظ على مستوى الماء فيه بطريقة معينة يوصل بأنبوب لعينة التربة ذات السماكة (L) ، ومساحة المقطع (A) الواقعة بين قرصين مساميين ، فيرشح الماء بعد نزوله من الحوض عبر الأنبوب خلال عينة التربة ويتجمع في حوض أخير هو حوض قياس كمية التسرب ، يثبت مكان الحوض الرئيسي بحيث يبقى الارتفاع (h) ثابتاً أثناء التجربة ، يقاس مصروف الماء المتسرب (Q)

خلال فترة زمنية محددة (t) .

وباستخدام قانون دارسي نعرف قيمة معامل النفاذية (K)

الجهاز الموصوف أعلاه هو المعتمد في بحثنا وهو النوع الأول .

أما بالنسبة للنوع الثاني فإن مبدأ عمله مختلف قليلاً :

حيث توضع عينة التربة ذات المقطع (A) بين قرصين مساميين في مايسمى الخلية وقد اتصلت هذه الخلية من اتجاه واحد بأنبوب زجاجي دقيق مساحة مقطعه (a) صغيرة نسبياً ، وبمراقبة تناقص الضاغط في هذا الأنبوب خلال فترة زمنية معينة وباستخدام قانون دارسي نستطيع حساب معامل النفاذية (K) بالعلاقة:

- **الطرق الحقلية :**

إن الطرق الحقلية التي يتم بها قياس معامل النفاذية تعتبر أدق من الطرق المخبرية ، لأننا عندما نشكل العينة التي نضعها في جهاز القياس فإنها تختلف كثيراً عن الطبيعة من حيث البنية و الخواص الأخرى ، بينما تحافظ الطرق الحقلية على البنية و التوضع الطبيعي للتربة أما الطريقة الحقلية الأكثر شيوعاً فتقوم على حفر بئر مركزي وآبار رصد مساعدة ثم قياس مقدار انخفاض مستوى المياه الجوفية في البئر المركزي عند غزارة محددة تقوم بضخ الماء منه[1] ويحسب معامل النفاذية بالعلاقة :

$$K = q * \frac{1}{\pi} * \frac{\ln r2 - \ln r1}{Z_2^2 - Z_1^2}$$

حيث : q ـــــ الغزارة التي تضخ من البئر المركزي ليتم انخفاض ثابت لمنسوب المياه فيه وبالتالي في الآبار المساعدة .

(r2 - r1) البعد الأفقي بين كل من البئر المركزي والآبار المساعدة .

في حالة عدم وجود مياه جوفية في المنطقة المدروسة يضخ الماء في آبار الرصد ثم يراقب ويقاس منسوبه في البئر المركزي ، وباستخدام نفس العلاقة السابقة يحسب معامل النفاذية .

◄ الطرق الحسابية :

هذه الطرق الحسابية غالباً ما تستخدم في الترب الرملية فقط وتعطي قيماً قريبة لحد ما من الواقع ويؤخذ بنتائجها في حالات خاصة فقط .

و من أشهر الطرق الحسابية طريقة هازن (Hazen) التي تعتمد على أنه هنالك علاقة بين نفاذية التربة وبين القطر الفعال (D_{10}) الذي يؤخذ من منحني التركيب الحبي .

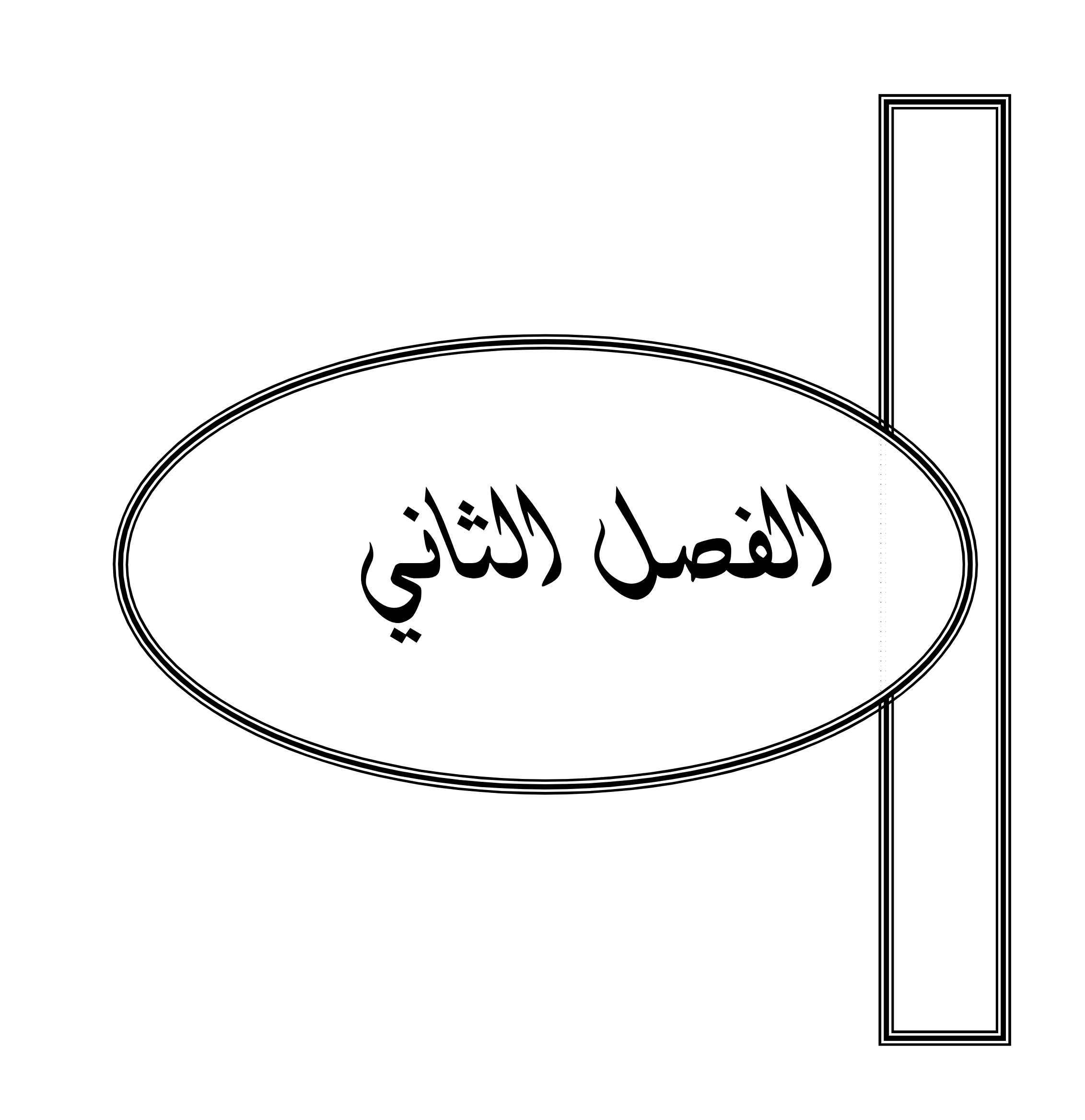
أما العلاقة فهي :

$$K = C \cdot D_{10}^2$$

حيث : k : معامل النفاذية Cm /sec

C : ثابت قيمته تتراوح بين 0.04 إلى 1.2معتمدة على حجم ذرات الرمل

D_{10}القطر الفعال: قطر الحبيبة التي % 10من وزن التربة أقل قطراً منها (mm)



الفصل الثاني

الدراسات التجريبية

2 ـ 1 اختيار المواد :

تم اختيار ثلاث عينات من التربة الرملية من أماكن متفرقة :

———— موقع الديماس قرب دمشق (A)

———— موقع المشرفة ريف دمشق (B)

———— موقع القريتين حمص (C)

وقد رمزنا لكل عينة منها بأحد الحروف (A - B - C) واعتمدنا في رسم المخططات الإيضاحية ألواناً موحدة لهذه العينات ، فاللون الأصفر خاص بالعينة(A) واللون الأخضر للعينة (B) واللون الأحمر مخصص للعينة (C) . الشكل (2 ـ1) يبين أحد هذه المواقع .



الشكل (2 ـ1) أحد المواقع المختارة (الديماس)

أما البينتونايت فقد تم إحضاره من محافظة حلب نظراً لتوفره بكثرة في هذه المحافظة .

2 ـ 2 مراحل الدراسة :

تمت الدراسات التجريبية على مرحلتين :

- **المرحلة الأولى :** أجريت على التربة الرملية قبل عملية خلطها مع البينتونايت و ذلك بغية تحديد بعض المواصفات الفيزيائية قبل الخلط .
- **المرحلة الثانية :** تمت على التربة الجديدة التي تشكلت من خليط التربة الرملية مع البينتونايت ، وقد جرت عليها بعض تجارب المرحلة الأولى لمعرفة مدى التحسن الذي طرأ على هذه المواصفات ، إن كان قد حدث أي تحسن ، و ما هي نسبته ، وخاصة النفوذية التي تعتبر هي من أهم أهداف البحث .

أما نسب الخلط الوزنية التي قمنا بها فهي : 15% - 10% - 5%

فنأخذ مثلاً 5% من وزن العينة الرملية بينتونايت وتخلط مع العينة ذاتها لتصبح نسبة الرمل 95% .

فما هي المواصفات الفيزيائية التي درست ...؟

تعرف الخواص الفيزيائية للتربة بأنها الخواص التي تدرس حالة التربة وتركيبها فمن الخواص التي قمنا بدراستها في بحثنا هذا : التركيب الحبي

ـــ الوزن النوعي ـــ الرطوبة ـــ المكافئ الرملي ـــ الوزن الحجمي ـــ تجربة بروكتور ـــ تجربة النفوذية

وبما أننا ندرس التحسن الذي طرأ على بعض خواص التربة الفيزيائية ، فكان لابد من دراسة التحسن الذي قد طرأ على مقاومة التربة ، فقمنا بإجراء تجربة القص المباشر البسيط على العينات كافة قبل الخلط وبعده .

(ملاحظة : لن نقوم بفصل مراحل التجارب عن بعضها أثناء ذكرها)

2 ــ 3 تجارب البحث :

2 ــ 3 ــ1 التركيب الحبي :

هي عملية تحديد النسب المئوية لوزن حبات التربة تبعاً لأبعادها , و ذلك للترب الخشنة التي يمكن أن تحجز على المنخل رقم 200 (0.075 مم) وهناك عدة طرق لتعيين التركيب الحبي للتربة ، منها : التحليل المنخلي و التحليل بالترسيب ، وفي بحثنا هذا اعتمدنا طريقة التحليل المنخلي نظراً لخشونة العينات نسبياً .

أجريت التجربة حسب **ASTM D422**

حيث تمرر التربة بعد تجفيفها بشكل جيد ثم وزنها على مجموعة من المناخل يتناقص قطر فتحة الثقوب فيها تدريجياً ، يتم بعدها فصل الحبيبات إلى مجموعات وذلك بهز هذه المناخل يدوياً أو آلياً وبعد هزها يوزن المتبقي على كل منخل

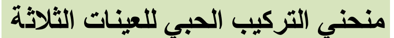
(المجموعة الحبيبية المحدودة بقطري فتحتي المنخلين ـــ المتبقية عليه و الذي يعلوها)

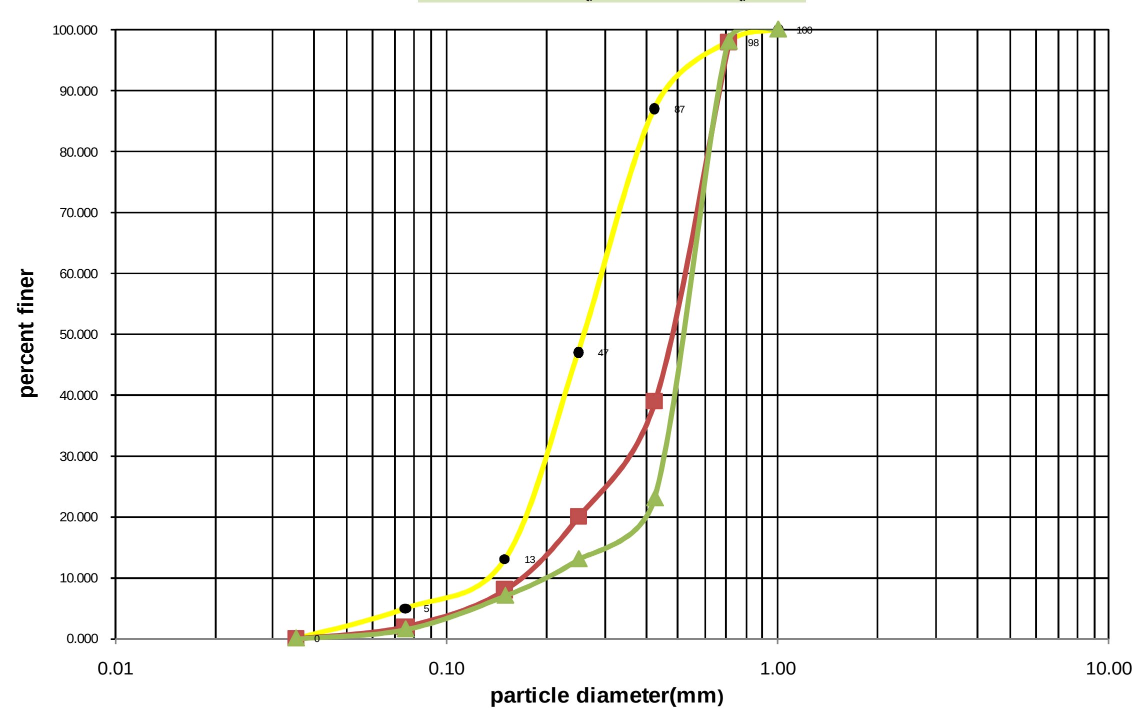
وتحسب النسبة المئوية لكل مجموعة حبيبية كما يبين الجدول (2- 1)

رقم المنخل	قطر فتحة المنخل (mm)	النسبة المئوية المارة (%) (A)	النسبة المئوية المارة (%) (B)	النسبة المئوية المارة (%) (C)
20	0.71	98	98	98
40	0.425	87	23	39
60	0.25	47	13	20
100	0.15	13	7	8
200	0.074	5	1.5	2

الجدول (2- 1)

ومن معطيات هذا الجدول يرسم المنحني المعروف بمنحني التركيب الحبي كما هو بالشكل (2 – 2) ، والذي هو عبارة عن تمثيل بياني للوغاريتم قطر الحبيبات (للمحور الأفقي) و النسبة المارة من كل منخل (للمحور الشاقولي)





الشكل (2 – 2) منحني التركيب الحبي للعينات الثلاثة

اللون الأصفر العينة (A) واللون الأخضر للعينة (B) واللون الأحمر للعينة (C)

من المنحني الذي تم رسمه يمكن حساب ما يعرف بمعامل تجانس التركيب الحبي الذي هو النسبة ما بين D_{60} إلى D_{10} أي :

$$Cu = \frac{D60}{D10}$$

D60 قطر الحبيبة التي 60% من وزن العينة أقل قطراً منها .

D10 قطر الحبيبة التي 10% من وزن العينة أقل قطراً منها .

كما و يعرف D10 بالقطر الفعال ويستخدم في حساب معامل نفاذية التربة .

من المنحني أيضاً يمكننا حساب معامل انحناء منحني التركيب الحبي Cz حيث يعطى بالعلاقة :

وبعد إجراء الحسابات المذكورة أعلاه يمكننا التعرف على تجانس العينات وجودة تدرجها :

العينة	D10	D30	D60
A	0.14	0.2	0.3
B	0.2	0.47	0.52
C	0.18	0.35	0.57

الجدول (2 −2) D10 D30 D60 للعينات

العينة	Cu = D60/D10	Cz =(D30)²/D10 *D60
A	2.14	0.95
B	2.6	2.12
C	3.11	1.21

الجدول (2 −3) Cz Cu للعينات المدروسة

حتى تكون التربة الرملية جيدة التدرج الحبي يجب أن يتحقق هذين الشرطين :

$$Cu \geq 6$$

$$1 < Cz < 3$$

وبعد المقارنة نستنتج بأن العينات المدروسة كلها متجانسة التركيب الحبي وهي فقيرة التدرج ولكن من التدقيق بمنحنيات التركيب الحبي نلاحظ أن العينة(B) هي العينة الأفضل من حيث الانحناء .

2 ـــ 3 ـــ 2 تجربة المكافئ الرملي :

تعتبر هذه التجربة تجربة سريعة تساعد في تبيان نسبة المواد الناعمة في التربة.

و تستخدم في هذه التجربة اسطوانة بلاستيكية مدرجة كل تدريجة قيمتها 0.1 إنش سدادة من المطاط، أنبوب تزويد بالمياه، مجموعة ذات قاعدة بوزن محدد، وهي عبارة عن قضيب معدني في نهايته السفلى مخروط ارتكاز للاستناد على طبقة الرمل . وفي نهايته العليا اسطوانة ذات وزن معياري، وبينهما حلقة قياس تبعد عن أسفل مخروط الارتكاز 254 مم.

مجموعة سيفون مجهزة بزجاجة سعة 4 ليتر من محلول كلوريد الكالسيوم توضع على رف أعلى من مستوي سطح العمل بمقدار 91.5 ± 2.5 سم.

هزاز ميكانيكي مهمته مزج العينة المختبرة مع المحلول بشكل جيد . و بإتباع خطوات التجربة حسب الأصول (**ASTM-D 2419-74**) نصل لنتيجة مفادها معرفة نسبة المواد الناعمة في العينة المختبرة .

في الجدول (2− 4) نبين نتيجة تجربة المكافئ الرملي لعينات البحث

العينة	المكافئ الرملي
A	36
B	88
C	75

الجدول (2− 4)

2 ــ 3 ــ 3 الوزن الحجمي بالحالة الطبيعية :

يعرف الوزن الحجمي للتربة بأنه وزن واحدة الحجوم من التربة في الحالة المعطاة

و يقاس بعدة وحدات : g / cm^3 أو kg / m^3 أو ton / m^3 ورمزه (ɣ) .

ومن أجل معرفة الوزن الحجمي الطبيعي للتربة (في حالة توضعها الطبيعي) فقد استخدمنا قالب بروكتور المعروف ، وقد علمنا وزنه وحجمه وهو فارغ ، ثم قمنا بغرزه برفق ضمن توضعات التربة من مكان أخذ العينات ، ثم وزناه بعد أن امتلئ تماماً وبعملية حسابية بسيطة حسبنا الوزن الحجمي الطبيعي ، وقد أخذنا أيضاً عينات من عين المكان لمعرفة الرطوبة الطبيعية للتربة ، ومن معرفة الرطوبة حسبنا الوزن الحجمي الجاف للعينات في هذه الحالة من العلاقة :

حيث : γd الوزن الحجمي الجاف .

W رطوبة التربة .

وهذا موضح بالجدول الجدول (2– 4) التالي :

العينة	الوزن الحجمي الطبيعي γ (g/cm³)	الوزن الحجمي الجاف (g/cm³) γd	الرطوبة الطبيعية w %
A	1.58	1.52	4
B	1.76	1.68	4.5
C	1.65	591.	3.5

الجدول (2– 4)

2 ـ 3 ـ 4 الوزن النوعي :

الوزن النوعي للتربة هو وزن واحدة الحجم من الجزء الصلب للتربة ، ورمزه γs وواحداته نفس واحدات الوزن الحجمي .

يستخرج الوزن النوعي للتربة بتجربة معروفة تستخدم الماء المقطر حيث تغمر العينة المفحوصة بجهاز يسمى البيكنومتر ويخلى الهواء منها بالمخلية الشكل (2 – 3) وبعملية حسابية معروفة يحسب الوزن النوعي .



الشكل (2 – 3) المخلية ومعها العينة المختبرة

الآن نضيف قيم الوزن النوعي التي حصلنا عليها على الجدول السابق مع قيم الوزن الحجمي الطبيعي في الجدول (2- 5):

الوزن النوعي γs (g/cm³)	الرطوبة الطبيعية w %	الوزن الحجمي الجاف γd (g/cm³)	الوزن الحجمي الطبيعي γ (g/cm³)	العينة
2.59	4	1.52	1.58	A
2.61	4.5	1.68	1.76	B
2.64	3.5	591.	1.65	C

الجدول (2- 5)

2 ـ 3 ـ 5 تجربة الرص(بروكتور) :

كما ذكرنا في الفصل الأول من البحث فإن المرحلة الأخيرة وهي المرحلة الأهم من مراحل تحسين التربة هي مرحلة الرص ، ولكن كيف نقيم فعالية الرص ، وهل وصلنا للدرجة المطلوبة أم لا ...؟

في الواقع إن فعالية الرص تقيِّم بمقدار الوزن الحجمي الجاف (γd) للتربة المرصوصة فازدياد قيم (γd) يعني ازدياد كثافة التربة ، و بالتالي فان جزيئاتها تأخذ وضعاً تكون عنده أكثر تقارباً بعضها من بعض ، مما يؤدي لتقليل نفوذيتها .

إذاً لابد من معرفة القيمة العظمى للوزن الحجمي الجاف التي يمكن الوصول إليها عند رص تربة ما ، وهذا ممكن مخبريًا بواسطة أجهزة خاصة حيث ترص التربة بواسطة مطرقة ضمن قالب معدني نظامي ، وهناك علاقة بين رطوبة التربة ومقدار (γd) في التربة المرصوصة ، لذلك يرسم المنحني المعبر عن هذه العلاقة وعند قمة هذا المنحني نجد قيمة عظمى للوزن الحجمي الجاف و قيمة مقابلة من الرطوبة هي الرطوبة الفضلى أو الأصولية (Optimum Moisture Content) ، وهذا الجهاز الذي بواسطته تجرى التجربة هو ما يعرف باسم جهاز رص بروكتور (Proctor) ، ويتألف من قالب اسطواني الشكل مثبت على قاعدة معدنية ، ومن مدقة لها وزن محدد تتحرك ضمن وصلة معدنية ولها ارتفاع سقوط معين ، في تجاربنا استخدمنا قالب بروكتور النظامي بالمواصفات التالية :

ارتفاع القالب الداخلي $h = 4.584''$ وقطره $D = 4''$

وزن المدقة $G = 2.5$ Kg ارتفاع السقوط : $H = 12''$

وقد أجريت التجربة حسب (ASTM D698) عدد الطبقات : 5 كل طبقة 25 ضربة

يظهر على الشكل (2 – 4) جهاز الرص بروكتور الآلي التي تنت عليه تجارب الرص في هذا البحث وهو موجود في كلية الهندية المدنية في جامعة البعث .

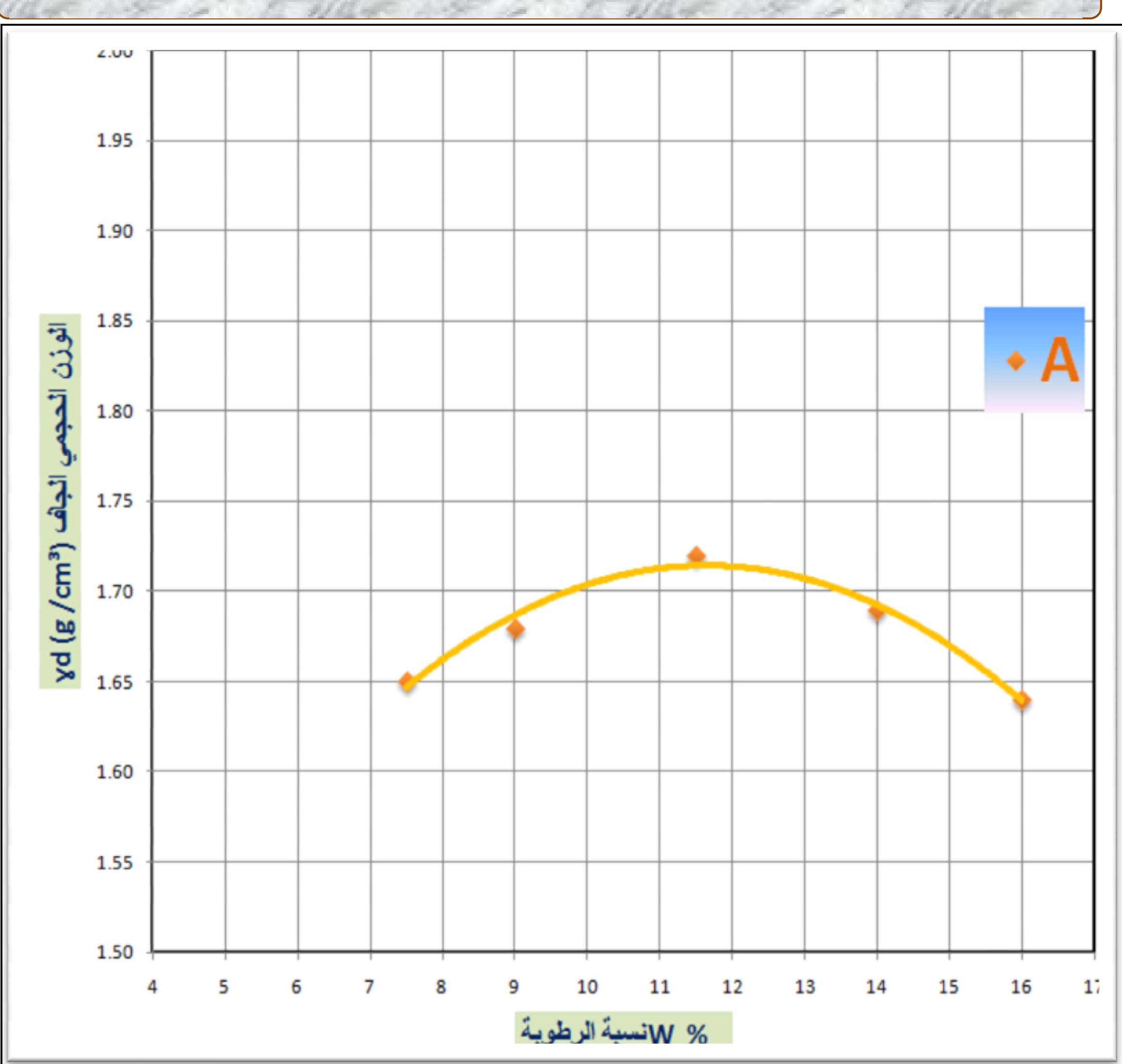
وتنفذ التجربة بخلط وزن محدد من التربة بالماء بحيث تحقق رطوبة أقل من الرطوبة الأصولية المتوقعة ، ثم تدق التربة ضمن القالب بالعدد المطلوب من الضربات ، والعدد المطلوب من الطبقات ، تنزع التربة من القالب ويعاد خلطها برطوبة أخرى أعلى من السابقة



الشكل (2 – 4) جهاز الرص بروكتور الآلي

تعاد التجربة هذه بما لا يقل عن خمس مرات ، في كل مرة تكون الرطوبة أعلى بدرجتين أو أكثر بقليل ، ثم تجرى الحسابات لمعرفة قيم الرطوبة (W) وقيم (γd) الناتجة ، ثم يرسم المنحني للعلاقة $\gamma d = f(w)$ وتستخرج منه W_{op} و $\gamma_{d(max)}$.

وهذا ما قمنا به على العينات المدروسة كما يلي :

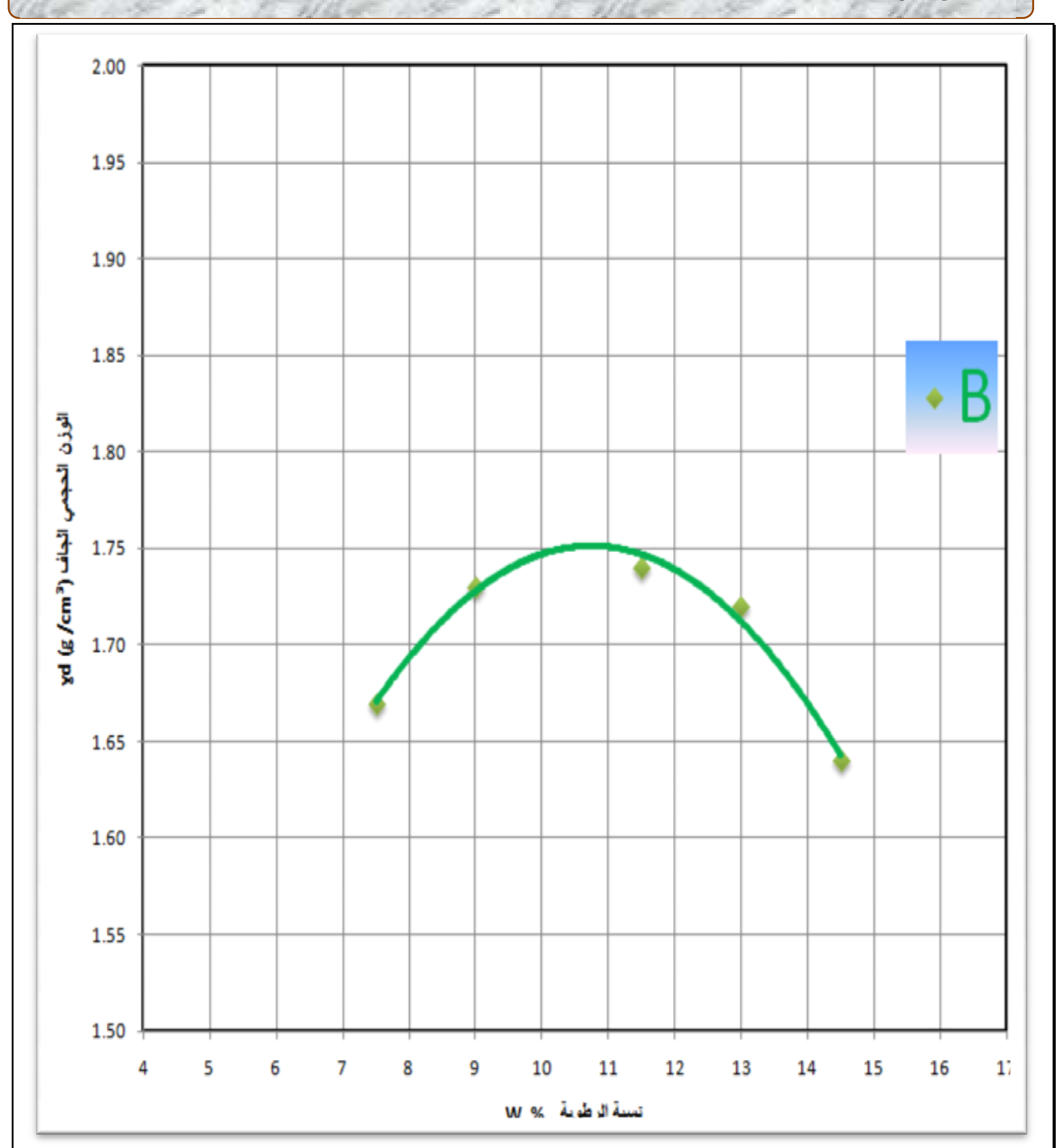


الشكل (2 – 5)

العلاقة بين الرطوبة (w) و الوزن الحجمي الجاف (γd) للعينة (A)

$W_{op} = 11.5$ %

$\gamma_{d(max)} = 1.72$ g/cm³

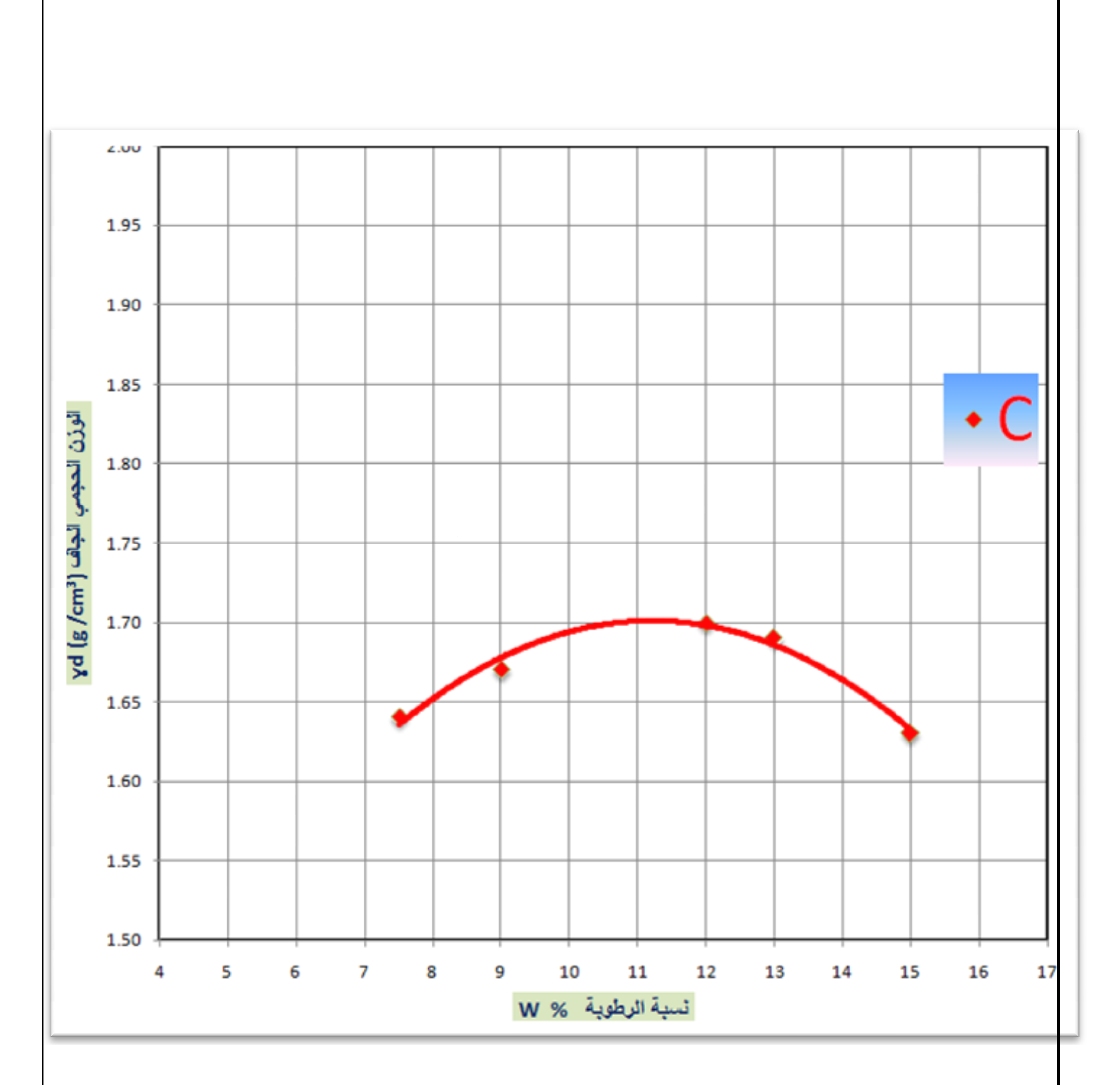


الشكل (2 – 6)

العلاقة بين الرطوبة (w) و الوزن الحجمي الجاف (γd) للعينة (B)

$W_{op} = 10\ \%$

$\gamma_{d(max)} = 1.74\ g/cm^3$



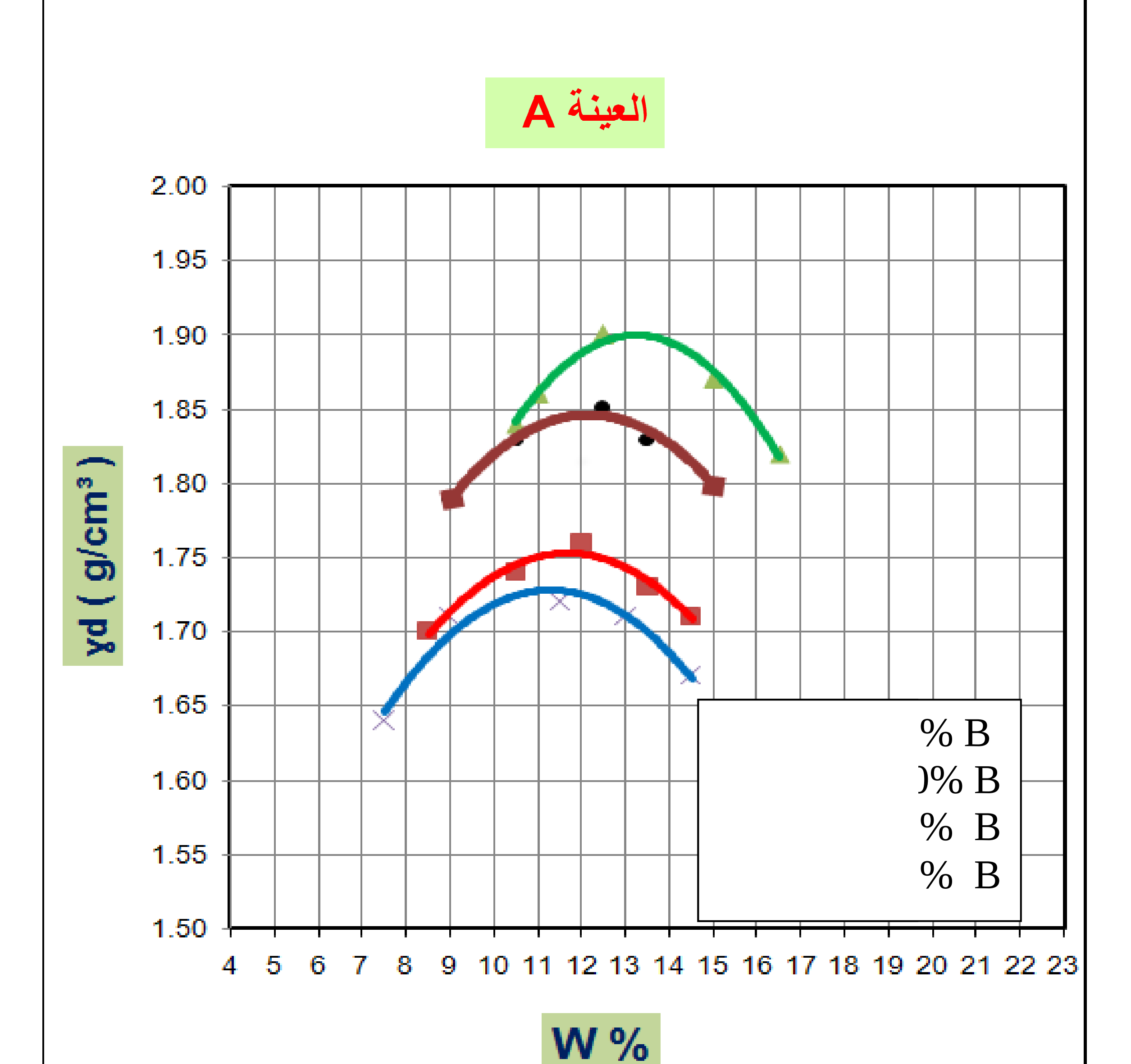
الشكل (2 – 7)

العلاقة بين الرطوبة (w) و الوزن الحجمي الجاف (γd) للعينة (A)

$W_{op} = 11.3\ \%$

$\gamma_{d(max)} = 1.70\ g/cm^3$

بعد معرفة القيم المذكورة أعلاه للرمل نقوم بخلطه مع البينتونايت حسب النسب الوزنية المحددة المذكورة سابقاً ونجري عليه نفس التجربة السابقة :



الشكل (2 – 8)

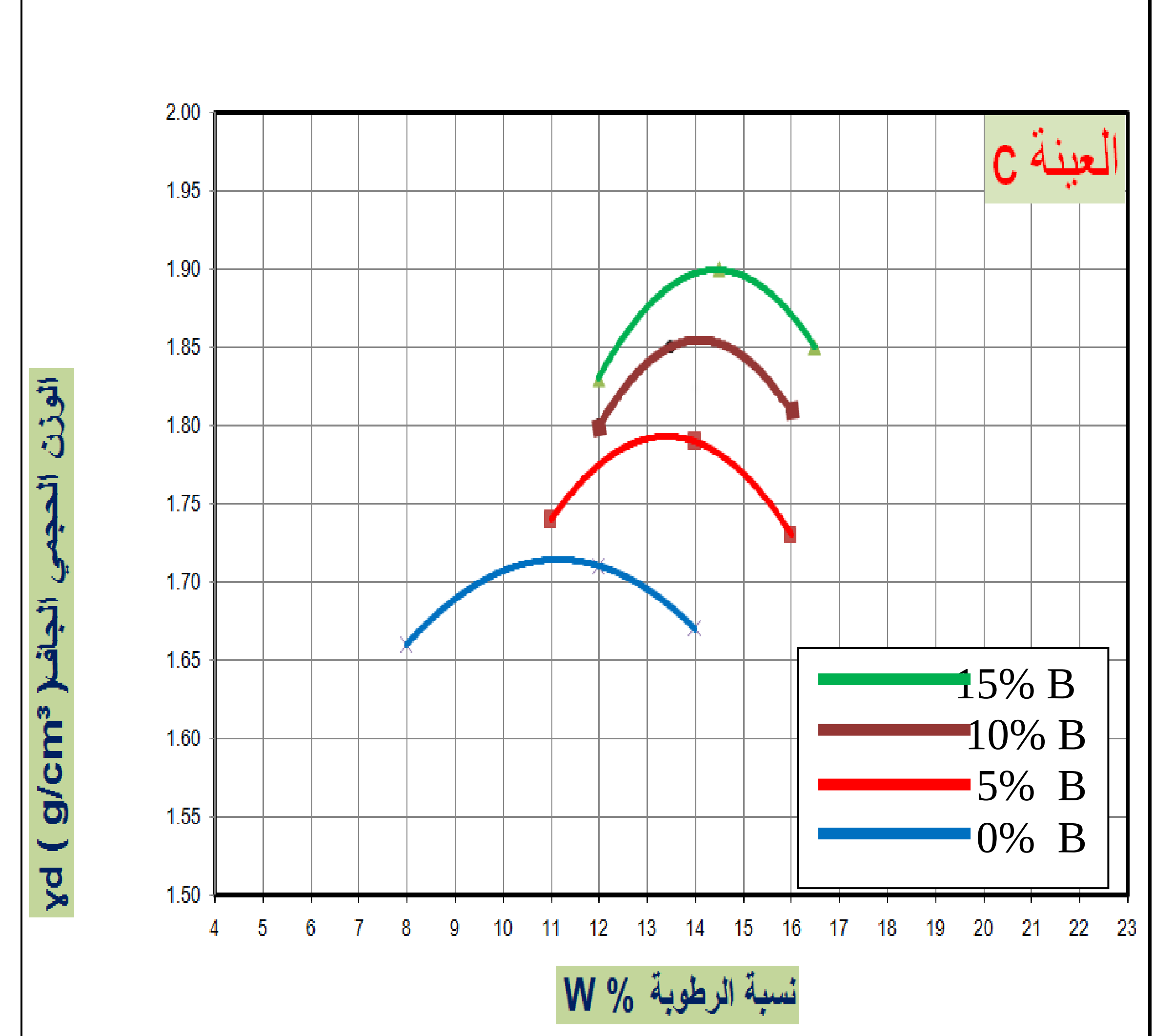
العلاقة بين الرطوبة (w) و الوزن الحجمي الجاف (γd) للعينة (A)
بعد الخلط بالبينتونايت

يدل الرمز 5% B أو 10% B على نسبة الخلط أو نسبة البينتونايت



الشكل (2 – 9)

العلاقة بين الرطوبة (w) و الوزن الحجمي الجاف (γd) للعينة (B) بعد الخلط بالبينتونايت



الشكل (2 – 10)

العلاقة بين الرطوبة (w) و الوزن الحجمي الجاف (γd) للعينة (C) بعد الخلط بالبينتونايت

نلاحظ في الشكل (2 – 11) إحدى العينات أثناء تجربة الرص وقد أضفنا لها 15% بينتونايت ، مدى التحسن الذي طرأ على تماسكها .



الشكل (2 – 11)

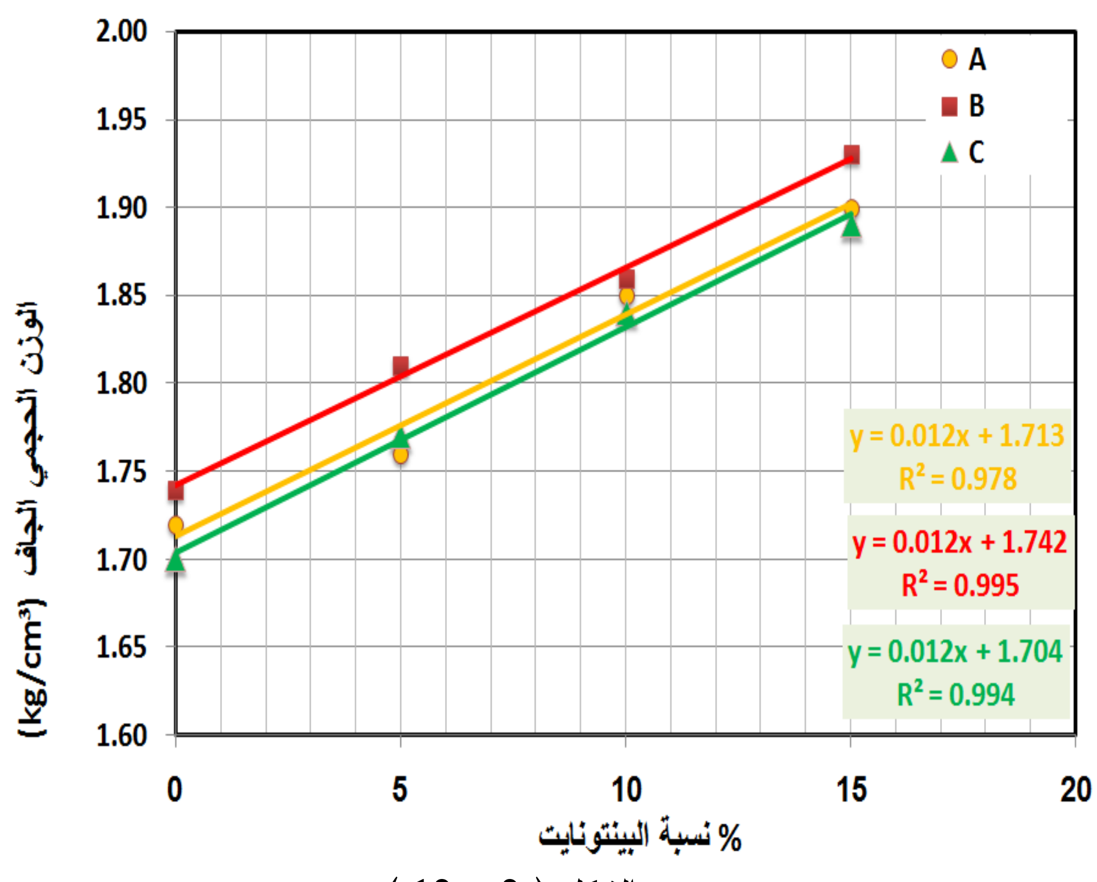
في الجدول التالي (2 – 6) نبين قيم الوزن الحجمي الجاف الأعظمية والرطوبة المثالية لكل العينات المدروسة ، مع كل نسب البينتونايت المقررة .

العينة	نسبة البينتونايت	الوزن الحجمي الجاف الأعظمي	الرطوبة المثالية
		γd max (g / cm³)	Wopt %
A	0%	1.72	11.5
	5%	1.76	12
	10%	1.85	12.5
	15%	1.97	12.7
B	0%	1.74	10
	5%	1.8	11.5
	10%	1.83	12
	15%	1.87	13
C	0%	1.7	11
	5%	1.77	13.5
	10%	1.84	14.5
	15%	1.8[illegible]	15

الجدول (2 – 6)

نلاحظ من خلال استعراض هذه النتائج أن قيم الوزن الحجمي الجاف الأعظمي تزداد مع ازدياد نسبة البينتونايت ، وتزداد أيضاً معها قيم الرطوبة المثالية .

والآن نرسم العلاقة بين كلا المتحولين (نسبة البينتونايت ، قيم الوزن الحجمي الجاف) وهي موضحة في الشكل (2 – 12)



الشكل (2 – 12)

وتم من خلال الرسم السابق استنتاج المعادلات التجريبية ما بين نسبة البينتونايت و قيم الوزن الحجمي الجاف :

العينة A $\quad \gamma d = 1.25\, B + 1.713$

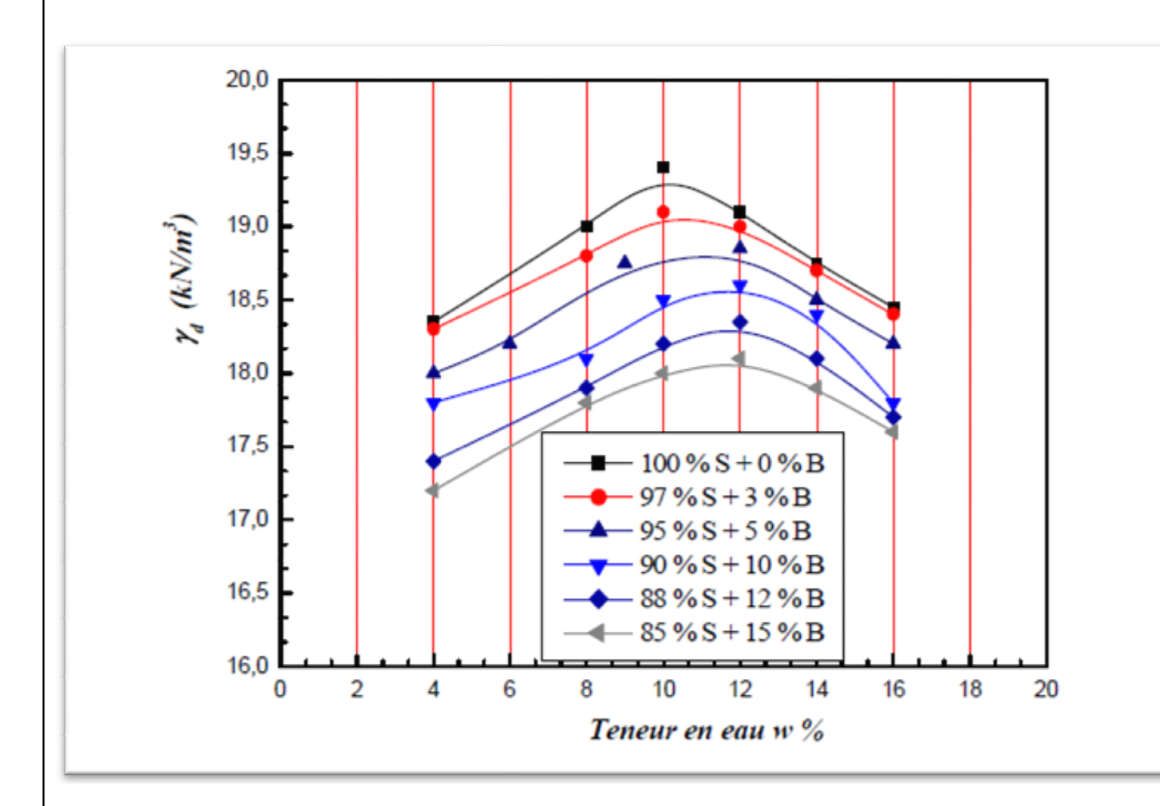
العينة B $\quad \gamma d = 1.25\, B + 1.742$

العينة C $\quad \gamma d = 1.25\, B + 1.7$

حيث : B نسبة البينتونايت وتقاس بالنسبة المئوية

γ_d هي قيمة الوزن الحجمي الجاف تقدر ب (kg/cm^3)

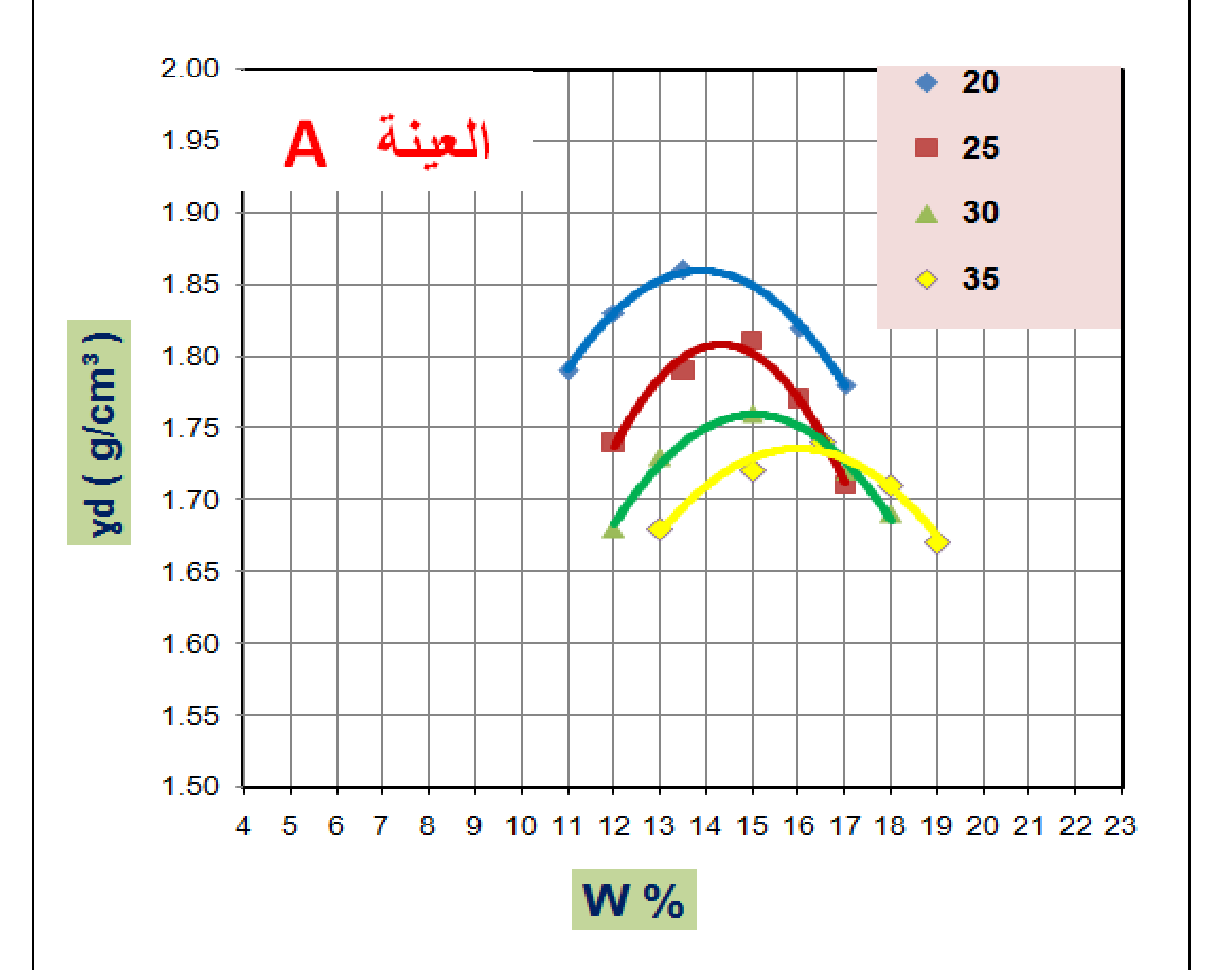
وعندما قارنا هذه النتائج مع الأبحاث الأخرى (على سبيل الاستئناس بها) التي جرت حول نفس الموضوع الشكل (2 – 13) وجدنا أن هناك اختلافاً ما فيما بينها ، ففي الأبحاث الأخرى وجدنا أن قيم الوزن الحجمي الجاف تتناقص تدريجياً كلما ازدادت نسب الخلط ، بينما حدث العكس في بحثنا هذا .



الشكل (2 – 13) مخططات الرص وعليها قيم الوزن الحجمي الجاف لأحد البحوث المرجعية نلاحظ تناقص هذه القيم كلما ازدادت نسبة البينتونايت

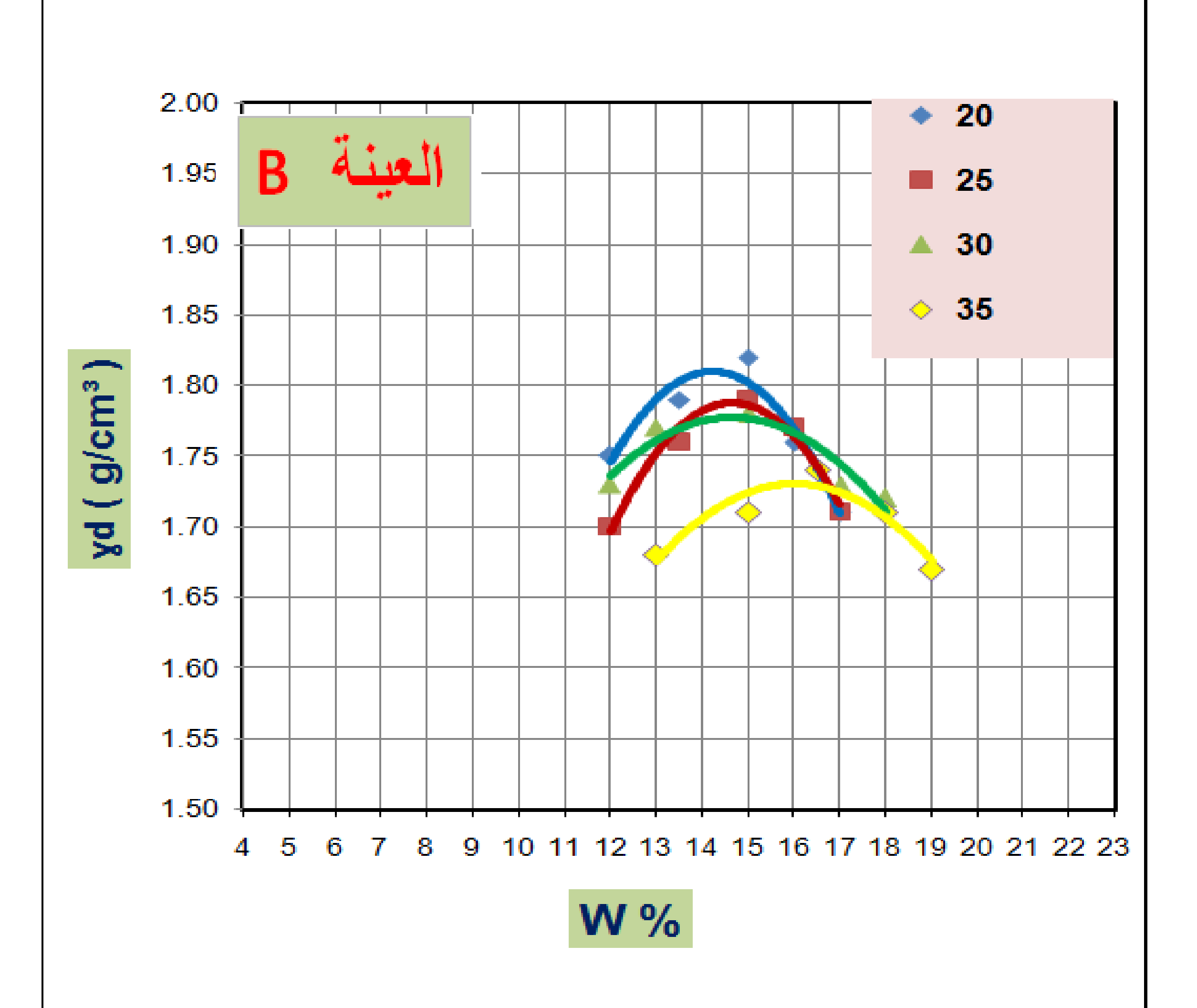
لذلك وبعد استشارة الأساتذة المشرفين تقرر توسعة العمل قليلاً وذلك بأن نزيد نسبة البينتونايت أكثر من قبل لتصبح لدينا نسب جديدة : 30% 25% 20% 35%

وفي الأشكال التالية : الشكل (2 – 14) الشكل (2 – 15) الشكل (2 – 16) نبين مخططات الرص التي حصلنا عليها لنسب البينتونايت أكثر من 15% .



الشكل (2 – 14)

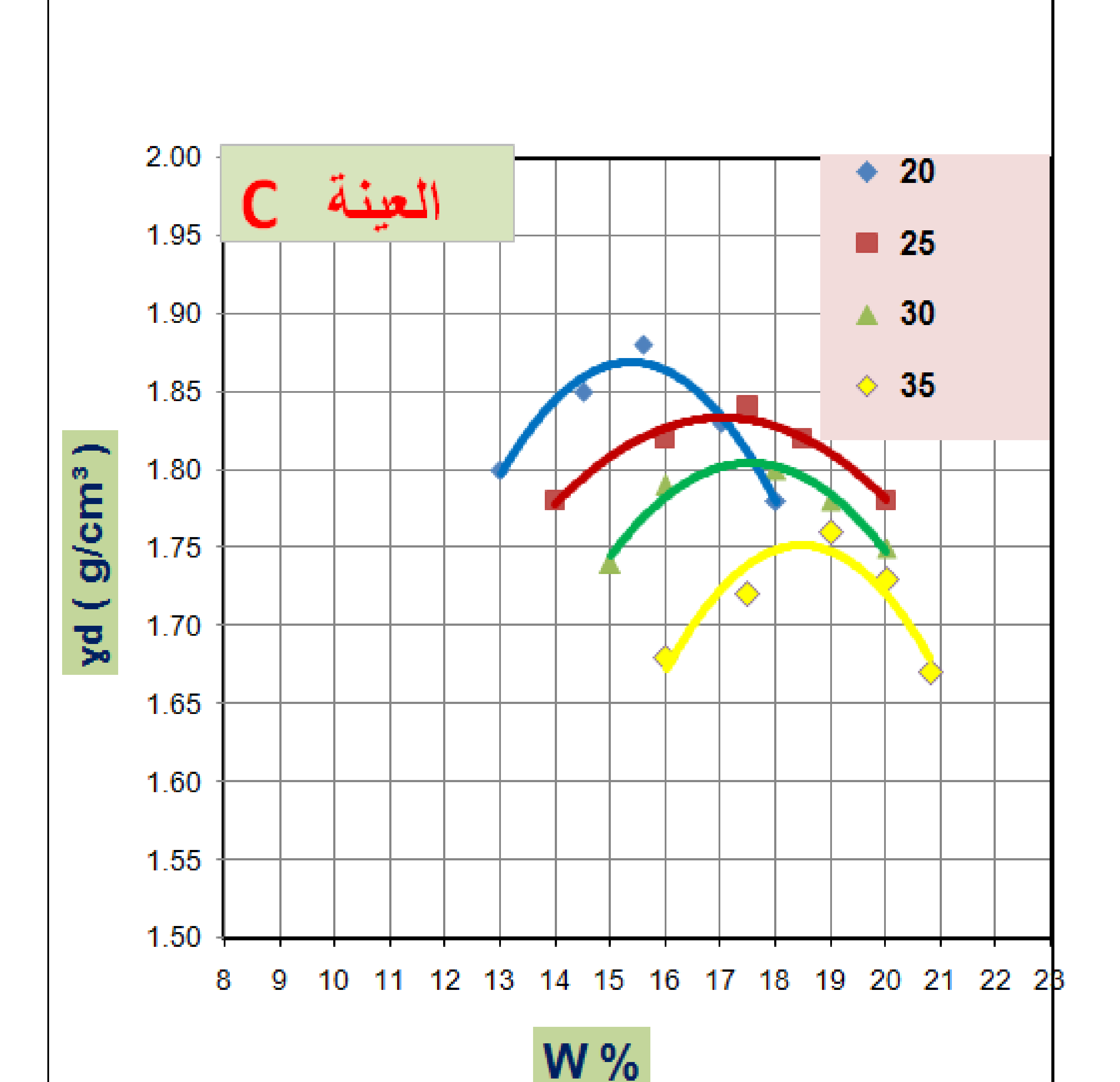
العلاقة بين الرطوبة (w) و الوزن الحجمي الجاف (γd) للعينة (A) بعد الخلط بالبينتونايت لنسب أكثر من 15%



الشكل (2 – 15)

العلاقة بين الرطوبة (w) و الوزن الحجمي الجاف (γd) للعينة (B)

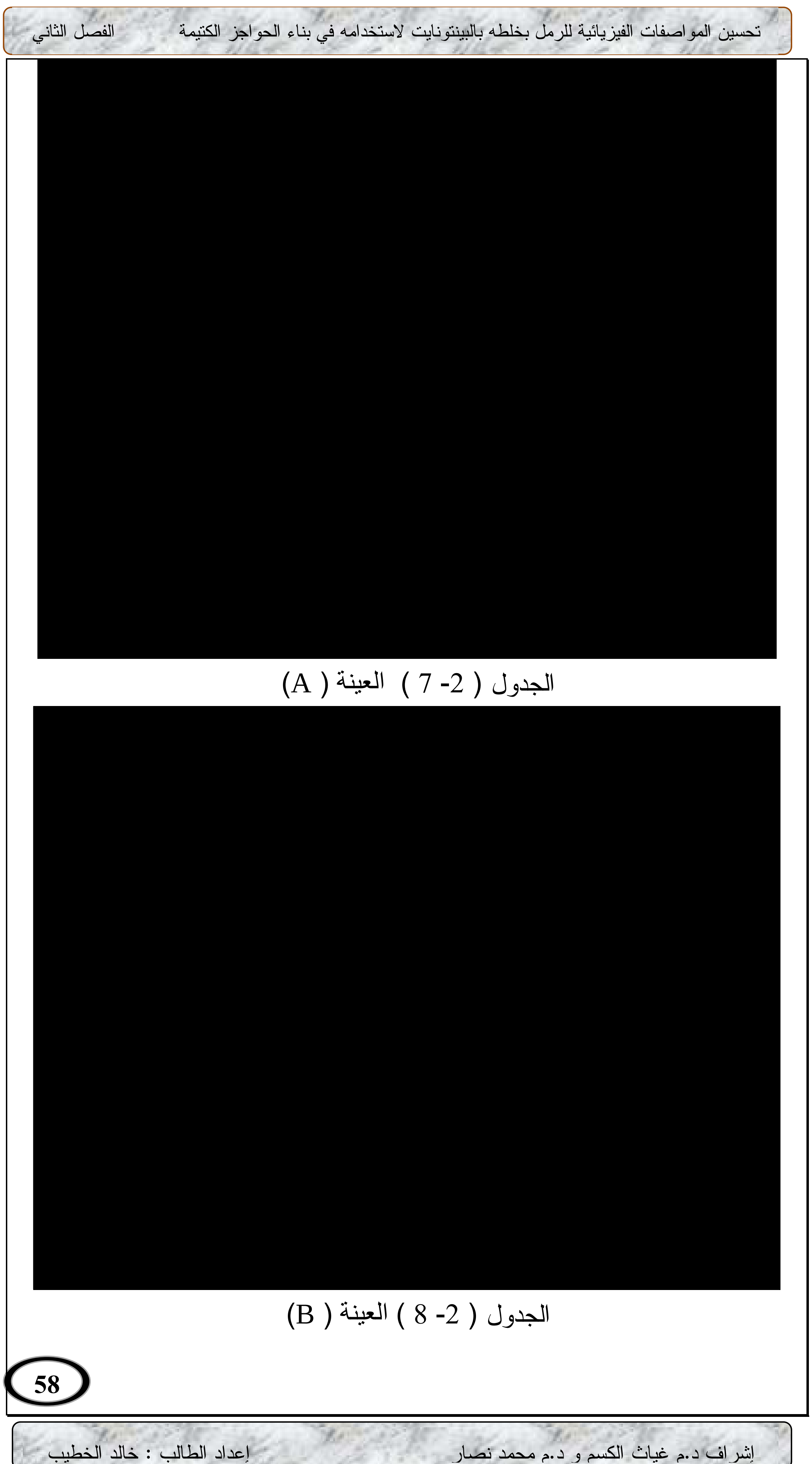
بعد الخلط بالبينتونايت لنسب أكثر من 15%



الشكل (2 – 16)

العلاقة بين الرطوبة (w) و الوزن الحجمي الجاف (γd) للعينة (C)
بعد الخلط بالبينتونايت لنسب أكثر من 15%

في الجداول (2 -7) و (2 -8) و (2 -9) نبين تفاوت قيم الوزن الحجمي الجاف مع ازدياد قيم نسبة البينتونايت لكل العينات المدروسة :



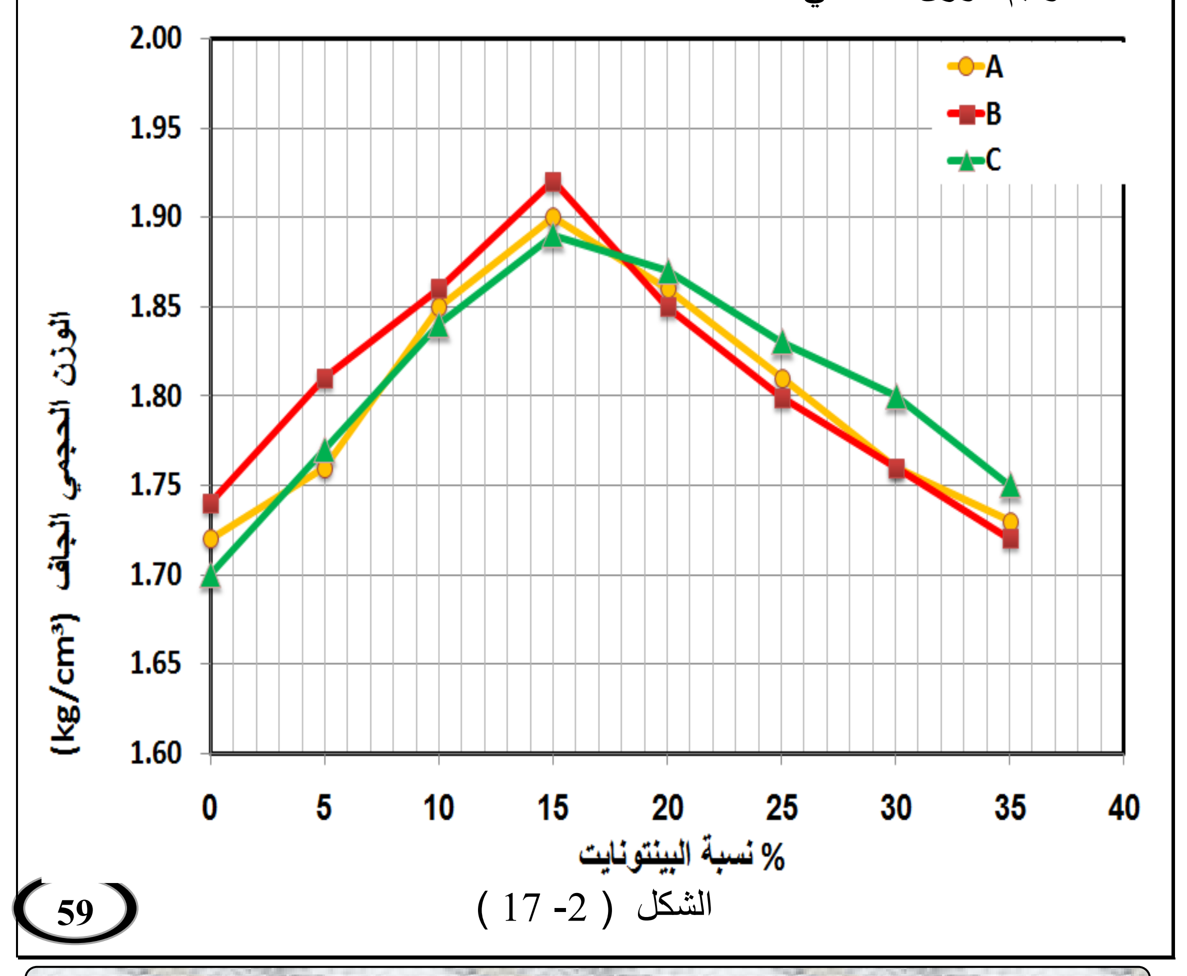
الجدول (2- 7) العينة (A)

الجدول (2- 8) العينة (B)

العينة	نسبة البينتونايت	الوزن الحجمي الجاف الأعظمي γd max (g / cm³)	الرطوبة المثالية Wopt %
C	0%	1.7	11
	5%	1.77	13.5
	10%	1.84	14.5
	15%	1.89	15
	20%	1.87	16.5
	25%	1.83	17.5
	30%	1.8	18.5
	35%	1.75	20

الجدول (2- 9) العينة (C)

في الشكل (2- 17) نلاحظ العلاقة بين نسب البينتونايت من النسبة 0% وحتى 35% وقيم الوزن الحجمي الجاف .



الشكل (2- 17)

تحليل نتائج تجارب الرص بجهاز بروكتور :

نلاحظ أن تزايد قيم الوزن الحجمي الجاف مع ازدياد نسبة البينتونايت ما دون النسبة 15% كان بنتيجة عمل الماء كمادة مزيتة بين الذرات أدت إلى تكاثف وترتيب الذرات حول بعضها وتقليل المسامات بخروج الهواء منها ، مما أدى إلى زيادة وزن العينة بنسبة كبيرة نوعاً ما وبالتالي زيادة الوزن الحجمي ، لم تتأثر هذه الزيادة بارتفاع كمية الرطوبة الأصولية .

ولكن الأمر بدأ يختلف عندما ارتفعت نسبة البينتونايت أكثر من 15% لأن فعاليته ازدادت وأصبح بحاجة لكمية من الماء أكبر ، وهكذا ارتفعت قيم الرطوبة الأصولية لدرجة أكبر من تزايد قيم الوزن الحجمي ، مما أدى لانخفاض قيم الوزن الحجمي الجاف .

وهذه النتيجة منسجمة تماماً مع بعض البحوث السابقة (Mahir Ada) الشكل (2- 18).

و على هذا فإننا نعتقد أن النسبة المثلى للبينتونايت هي نسبة 15% .

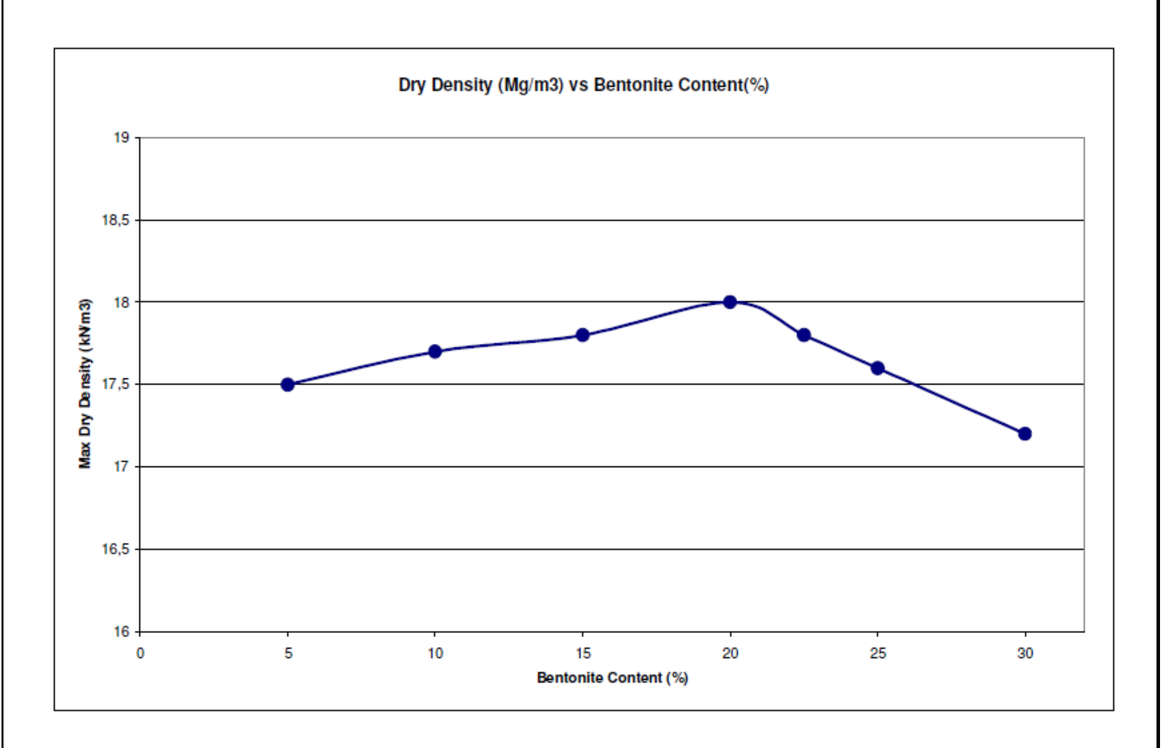


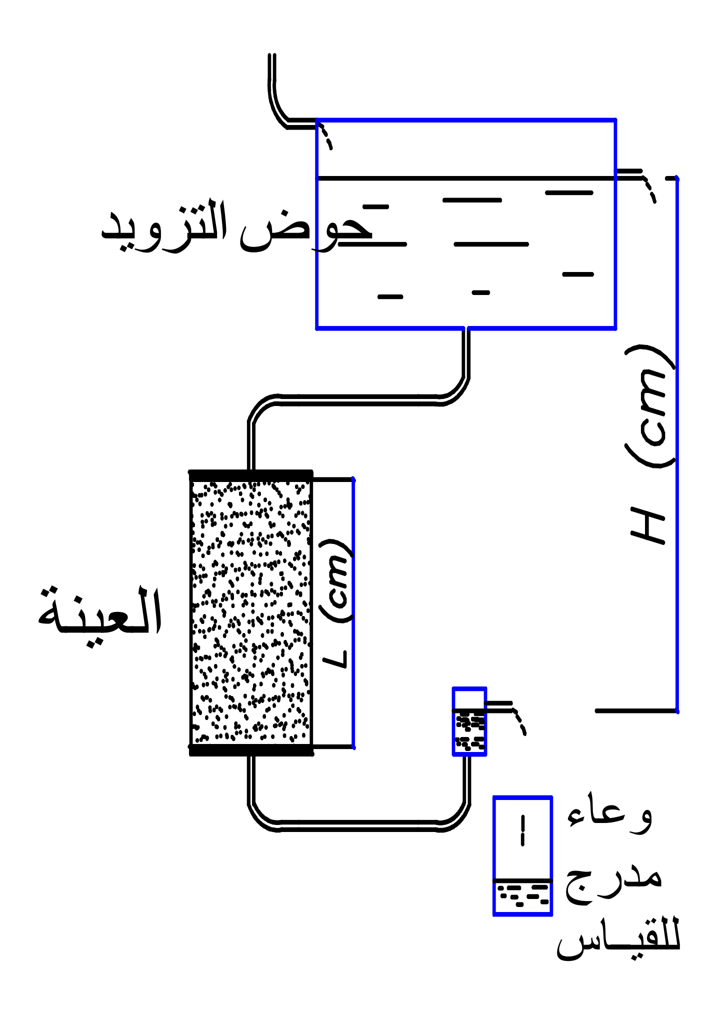
Figure 4.9 Maximum dry density vs. bentonite content.

الشكل (2- 18) من أحد البحوث المرجعية تفاوت قيم الوزن الحجمي الجاف مقابل ازدياد نسب البينتونايت

2 ـ 3 ـــ 6 تجارب النفاذية :

كما ذكرنا في الفصل الأول و بما أننا نتعامل مع التربة الرملية فإن جهاز النفاذية المناسب لمعرفة معامل النفاذية (K) هو جهاز النفاذية ذو الضاغط الثابت .

في الشكل (2 −19) يرد مخطط توضيحي لهذا الجهاز



الشكل (2 −19)

و نظراً لعدم توفر هذا الجهاز في مخابر كلية الهندسة ، فقد قمنا بتصنيع جهاز مماثل للجهاز المعروض في الشكل السابق مكون من خلية الشكل (2 –20) توضع العينة ضمنها ، و قد تم وضع الأقراص المسامية في المكان المحدد لهما ، ومن الحوض الثابت الذي تم توصيله بأنبوب للتزويد وآخر للمحافظة على المستوى الثابت للماء ، وثالث تم وصله إلى الخلية ، التي وُضعت فوق وعاء لقياس الماء المتسرب . الشكل (2 –21)



الشكل (2 –20) خلية جهاز النفاذية

كما نلاحظ في الشكل (2 –20) توضع عينة التربة ضمن هذه الخلية ، ويثبت غطاؤها بواسطة مشدات خاصة حرصاً على عدم تسرب المياه من غير المكان المخصص لها.

نلاحظ أيضاً وجود أنبوب إضافي في الغطاء العلوي للخلية مهمة هذا الأنبوب إخراج فقاعات الهواء في بداية التجربة ، كما نشاهد فإن هذه الخلية تتحرك على حامل خشبي الغاية من ذلك تغيير الارتفاع (H) مع المحافظة على بقية المتغيرات .

أما أبعاد العينة :

السماكة (L) = 6 cm ، مساحة المقطع (A) = $86.6\ cm^2$



الشكل (2 –21)

جهاز قياس معامل النفاذية ذي الضاغط الثابت الذي تم استخدامه في تجارب هذا البحث

إذاً كما شرحنا فإن أساس عملية حساب معامل النفاذية هو قانون دارسي ولمعرفة مدى صحة تطبيقه في هذا البحث ، قمنا أولاً برسم العلاقة بين الارتفاع (H) وحجم الماء المتسرب (V) لنرى إن كانت هذه العلاقة خطية أم لا ، وعندما نجد بأنها خطية فعلاً نتابع العمل بأن نحسب الغزارة من تقسيم الحجم على الزمن (t) :

$$Q = \frac{V}{t} \quad (cm^3/sec)$$

من تقسيم الغزارة على مساحة مقطع العينة (A) نجد السرعة (v)

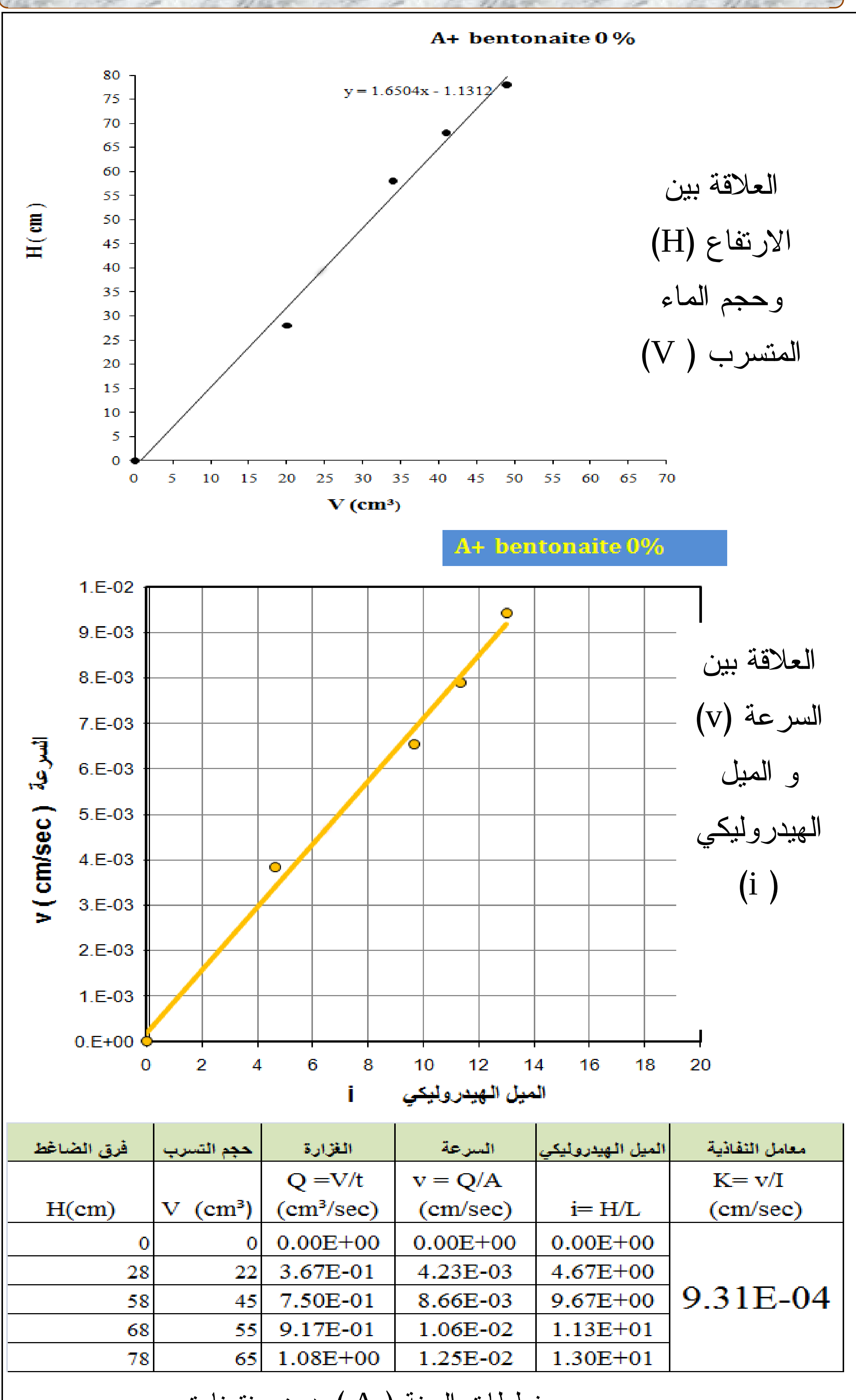
$$v = \frac{Q}{A} \quad (cm /sec)$$

ويحسب الميل الهيدروليكي(i) من تقسيم الارتفاع(H) على سماكة العينة (L)

$$i = \frac{H}{L}$$

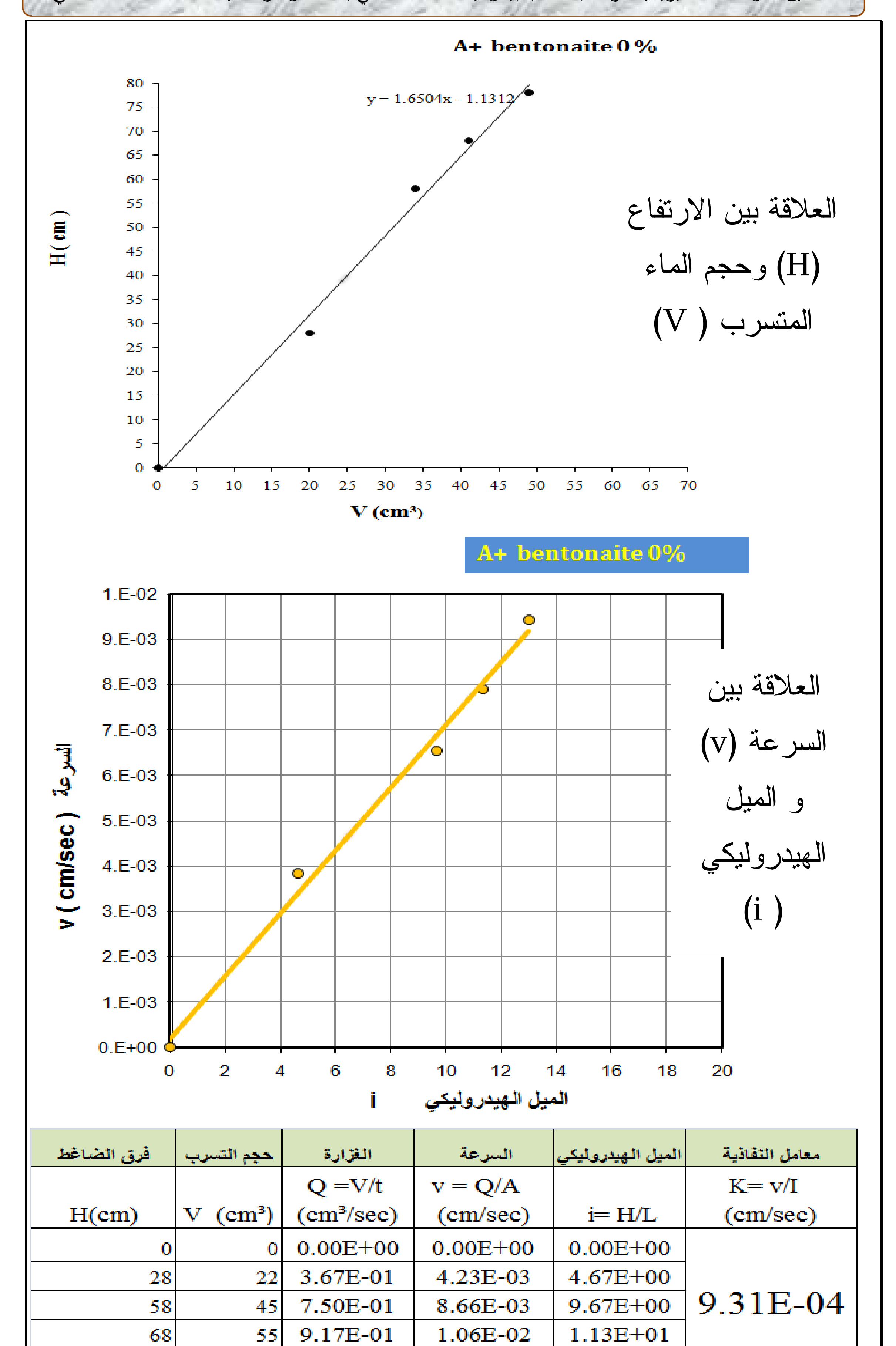
وبالتالي نحصل على معامل النفاذية (K) من ميل المستقيم الذي يمثل العلاقة بين السرعة (v) و الميل الهيدروليكي(i) حيث :

$$K = \frac{v}{i} \quad (cm /sec)$$



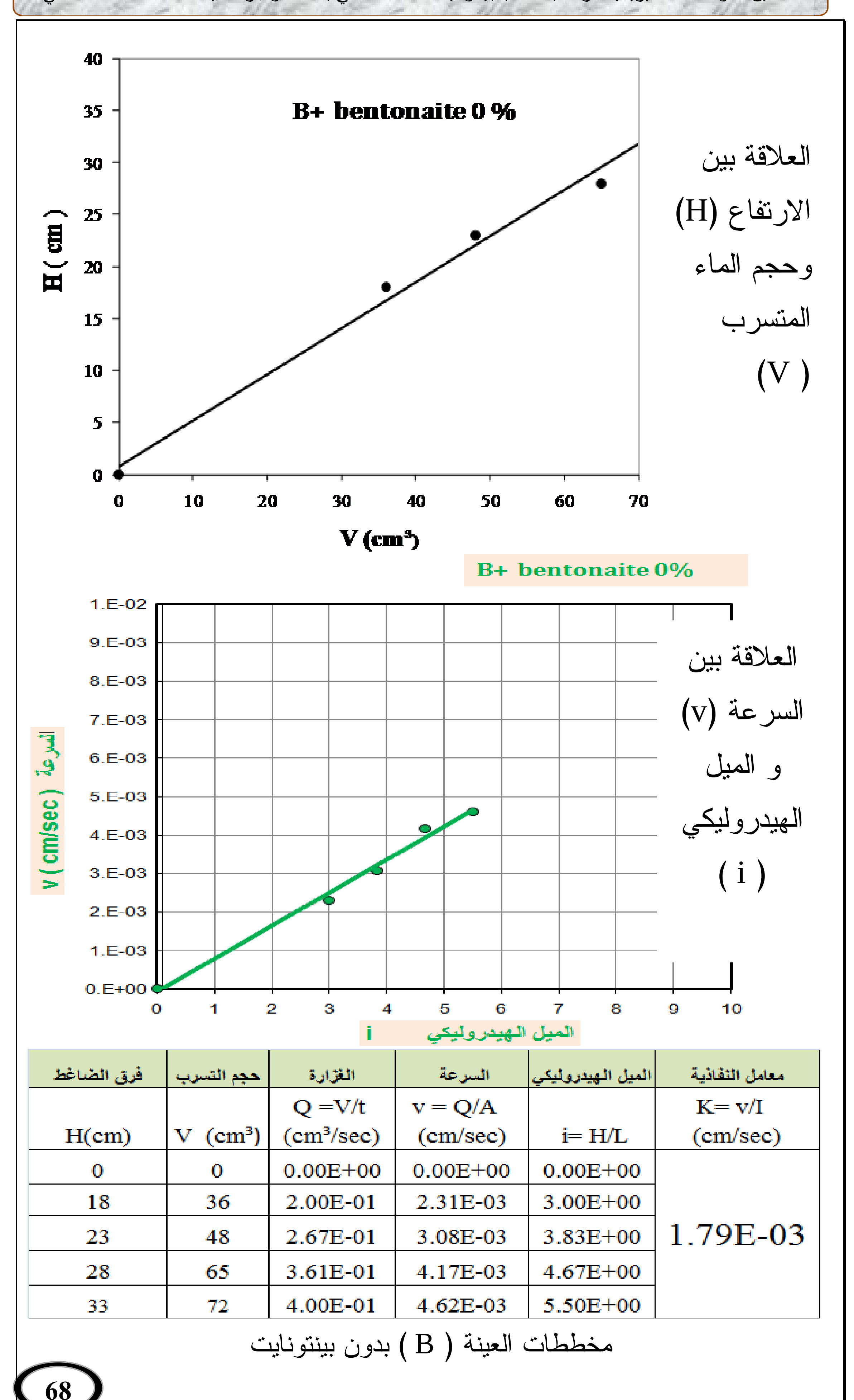
فرق الضاغط H(cm)	حجم التسرب V (cm³)	الغزارة Q =V/t (cm³/sec)	السرعة v = Q/A (cm/sec)	الميل الهيدروليكي i= H/L	معامل النفاذية K= v/I (cm/sec)
0	0	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	9.31E-04
28	22	3.67E-01	4.23E-03	4.67E+00	
58	45	7.50E-01	8.66E-03	9.67E+00	
68	55	9.17E-01	1.06E-02	1.13E+01	
78	65	1.08E+00	1.25E-02	1.30E+01	

مخططات العينة (A) بدون بينتونايت



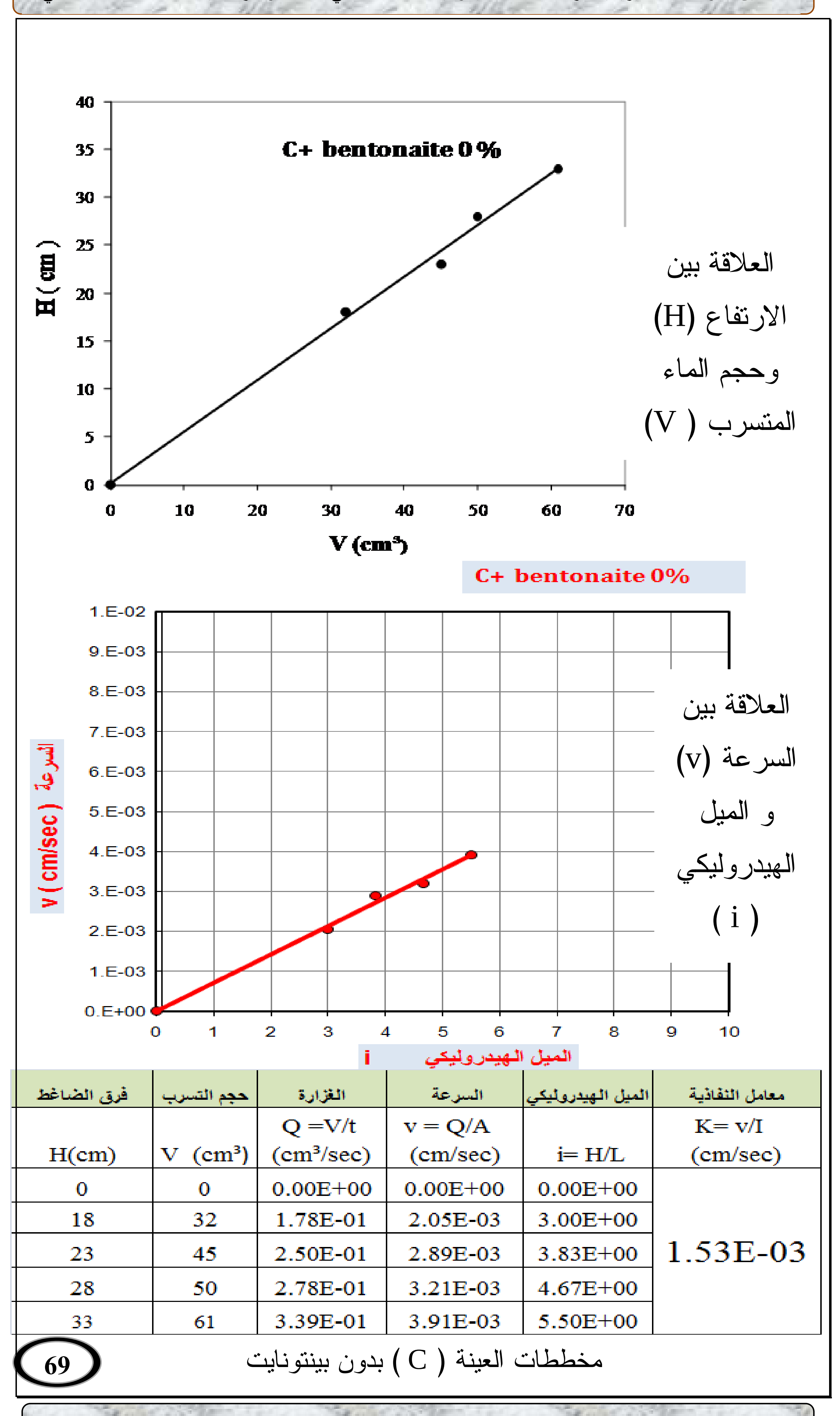
فرق الضاغط H(cm)	حجم التسرب V (cm³)	الغزارة Q =V/t (cm³/sec)	السرعة v = Q/A (cm/sec)	الميل الهيدروليكي i= H/L	معامل النفاذية K= v/I (cm/sec)
0	0	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	9.31E-04
28	22	3.67E-01	4.23E-03	4.67E+00	
58	45	7.50E-01	8.66E-03	9.67E+00	
68	55	9.17E-01	1.06E-02	1.13E+01	
78	65	1.08E+00	1.25E-02	1.30E+01	

مخططات العينة (A) بدون بينتونايت



فرق الضاغط	حجم التسرب	الغزارة	السرعة	الميل الهيدروليكي	معامل النفاذية
H(cm)	V (cm³)	Q =V/t (cm³/sec)	v = Q/A (cm/sec)	i= H/L	K= v/I (cm/sec)
0	0	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.79E-03
18	36	2.00E-01	2.31E-03	3.00E+00	
23	48	2.67E-01	3.08E-03	3.83E+00	
28	65	3.61E-01	4.17E-03	4.67E+00	
33	72	4.00E-01	4.62E-03	5.50E+00	

مخططات العينة (B) بدون بينتونايت



فرق الضاغط	حجم التسرب	الغزارة	السرعة	الميل الهيدروليكي	معامل النفاذية
H(cm)	V (cm³)	Q =V/t (cm³/sec)	v = Q/A (cm/sec)	i= H/L	K= v/I (cm/sec)
0	0	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.53E-03
18	32	1.78E-01	2.05E-03	3.00E+00	
23	45	2.50E-01	2.89E-03	3.83E+00	
28	50	2.78E-01	3.21E-03	4.67E+00	
33	61	3.39E-01	3.91E-03	5.50E+00	

مخططات العينة (C) بدون بينتونايت

ايجاد معامل النفاذية حسابياً :

كما مر معنا في الفصل الأول فإنه يمكن ايجاد معامل النفاذية بطريقة حسابية و للاستئناس فقط فإننا سنستخدم إحدى هذه العلاقات وهي علاقة (Hazen) التي تستخدم م ما يعرف بالقطر الفعال D_{10}

$$k = C\,(D_{10})^2$$

k : معامل النفاذية Cm /sec

c : ثابت قيمته تتراوح بين 0.04 إلى 1.2معتمدة على حجم ذرات الرمل

D_{10}: قطر الحبيبة التي % 10من وزن التربة أقل قطراً منها .(mm)

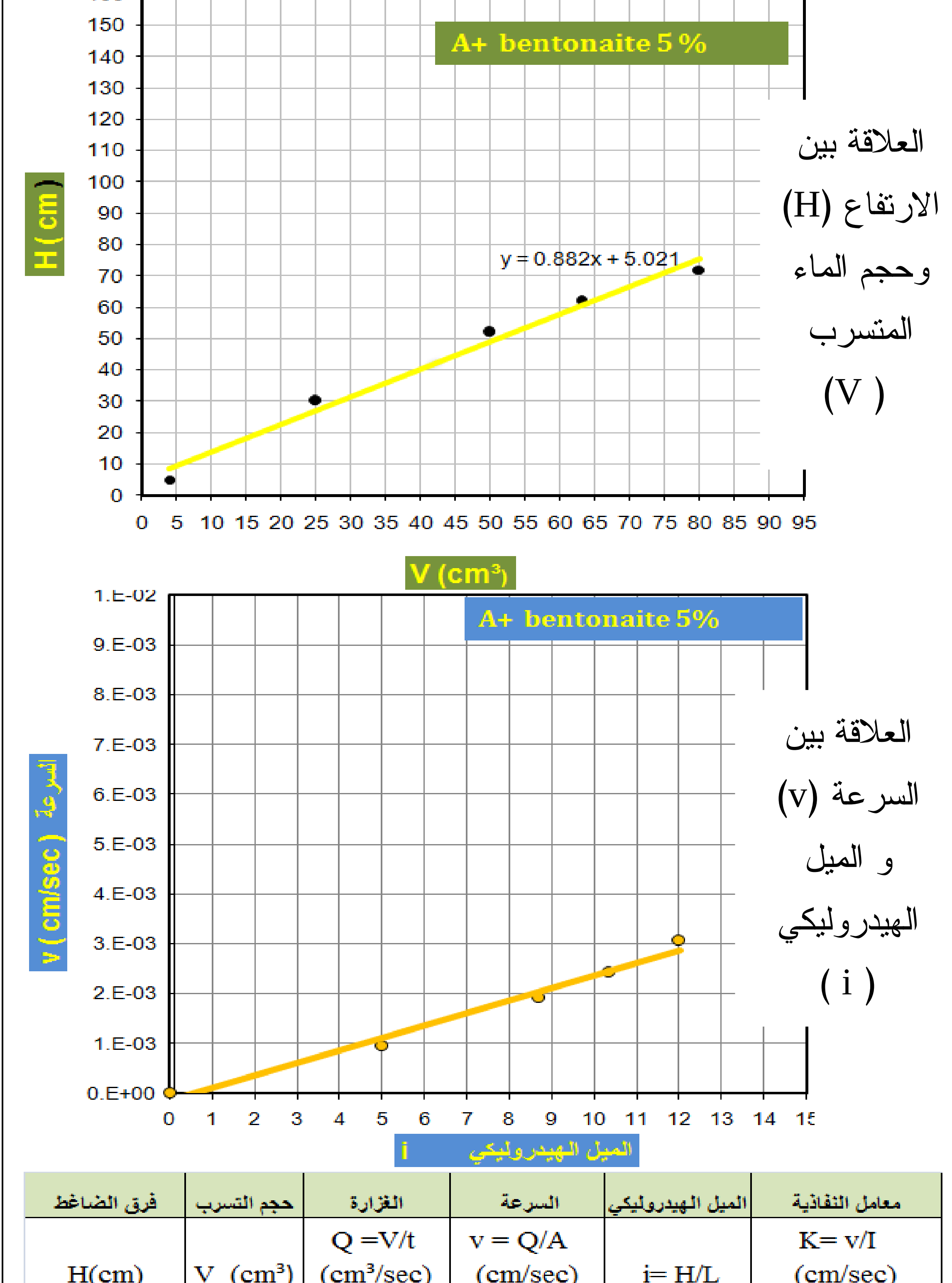
نعتمد قيمة C = 0.045 ونقارن النتائج الحسابية مع النتائج التجريبية في الجدول (2 – 10)

العينة	D_{10}	معامل النفاذية K (cm / sec) حسابياً	معامل النفاذية K (cm / sec) تجريبياً
A	0.14	8.18E-04	9.31E-04
B	0.2	1.8E-03	1.79E-03
C	0.18	1.46E-03	1.53E-03

الجدول (2 – 10)

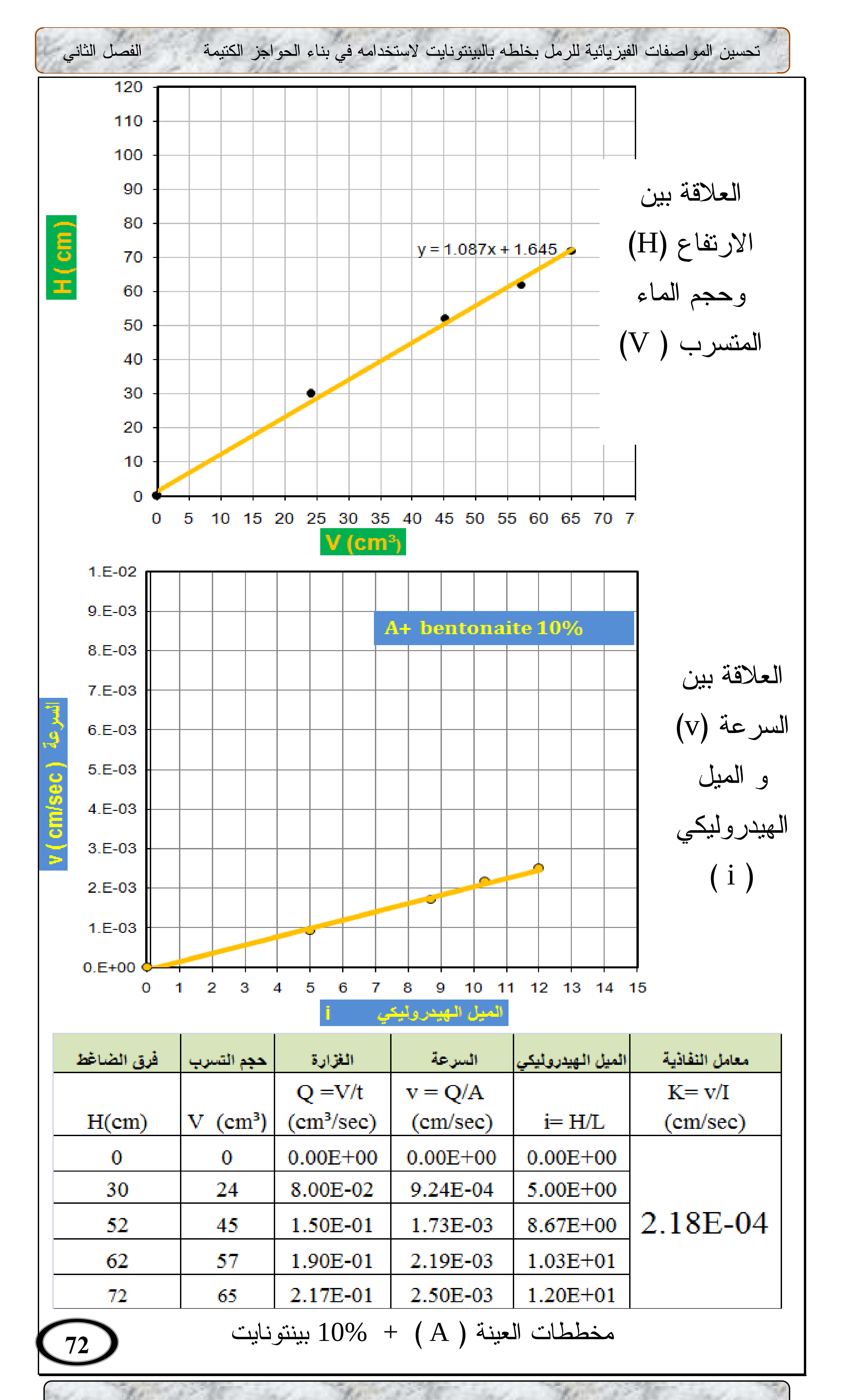
نتابع بعد ذلك تجارب النفاذية على العينات بعد إضافة البينتونايت حسب النسب :

5% 10% 15%



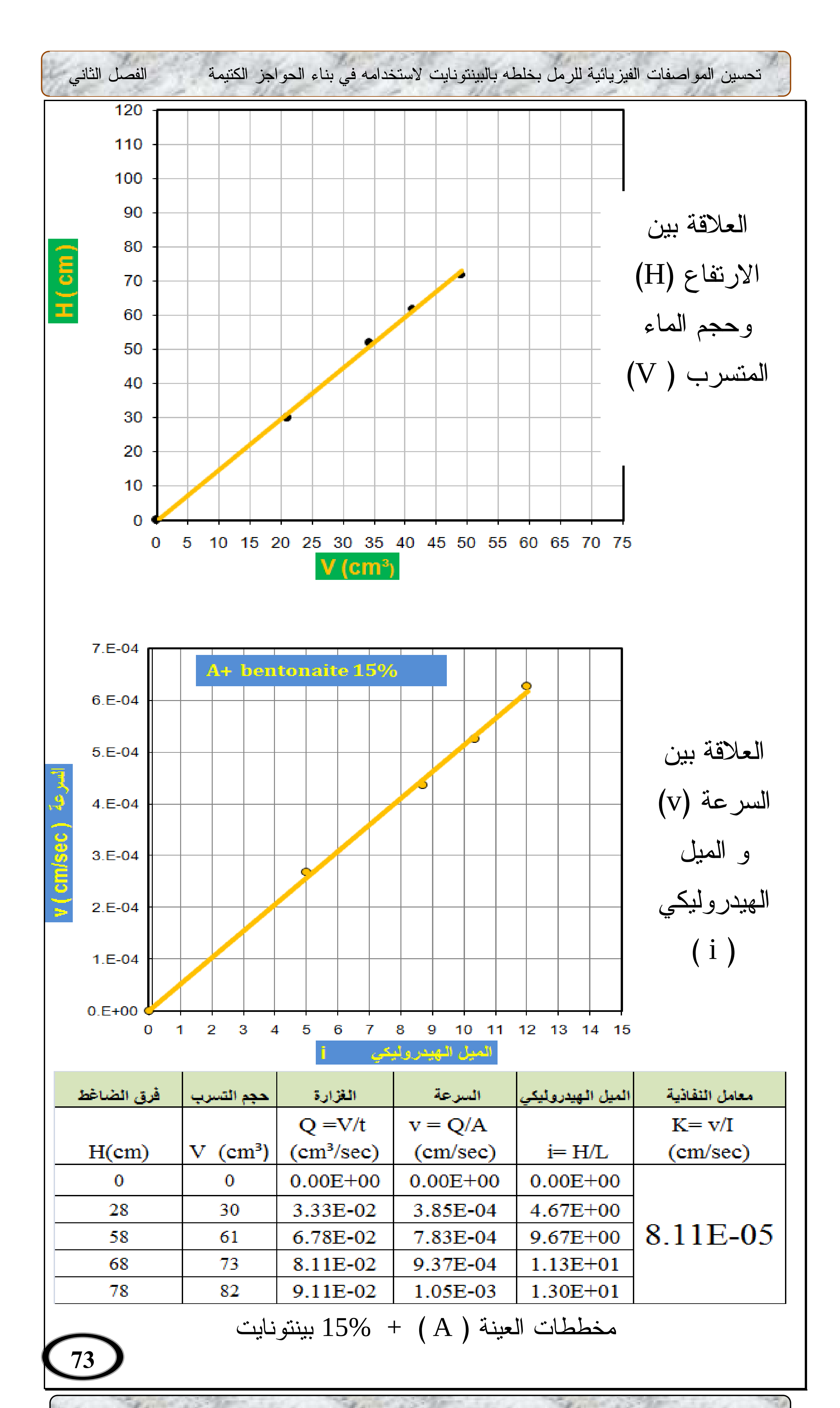
فرق الضاغط	حجم التسرب	الغزارة	السرعة	الميل الهيدروليكي	معامل النفاذية
H(cm)	V (cm³)	Q =V/t (cm³/sec)	v = Q/A (cm/sec)	i= H/L	K= v/I (cm/sec)
0	0	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.64E-04
30	25	8.33E-02	9.62E-04	5.00E+00	
52	50	1.67E-01	1.92E-03	8.67E+00	
62	63	2.10E-01	2.42E-03	1.03E+01	
72	80	2.67E-01	3.08E-03	1.20E+01	

مخططات العينة (A) + 5% بينتونايت



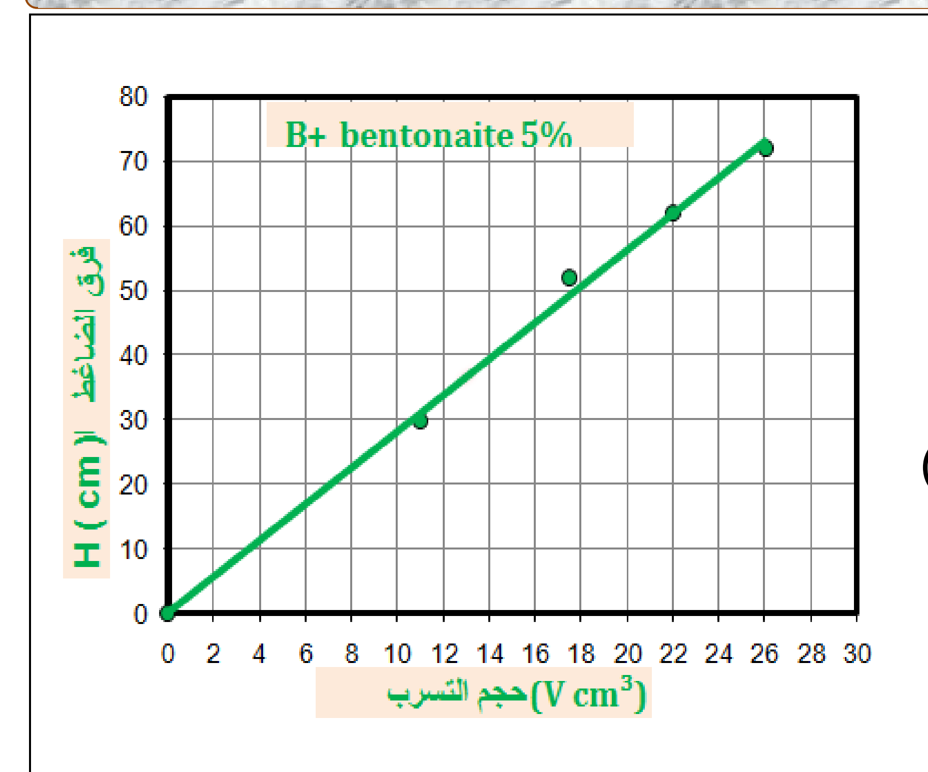
فرق الضاغط	حجم التسرب	الغزارة	السرعة	الميل الهيدروليكي	معامل النفاذية
H(cm)	V (cm³)	Q =V/t (cm³/sec)	v = Q/A (cm/sec)	i= H/L	K= v/I (cm/sec)
0	0	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.18E-04
30	24	8.00E-02	9.24E-04	5.00E+00	
52	45	1.50E-01	1.73E-03	8.67E+00	
62	57	1.90E-01	2.19E-03	1.03E+01	
72	65	2.17E-01	2.50E-03	1.20E+01	

مخططات العينة (A) + 10% بينتونايت



فرق الضاغط	حجم التسرب	الغزارة	السرعة	الميل الهيدروليكي	معامل النفاذية
H(cm)	V (cm³)	Q =V/t (cm³/sec)	v = Q/A (cm/sec)	i= H/L	K= v/I (cm/sec)
0	0	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	8.11E-05
28	30	3.33E-02	3.85E-04	4.67E+00	
58	61	6.78E-02	7.83E-04	9.67E+00	
68	73	8.11E-02	9.37E-04	1.13E+01	
78	82	9.11E-02	1.05E-03	1.30E+01	

مخططات العينة (A) + 15% بينتونايت



العلاقة بين الارتفاع (H) وحجم الماء المتسرب (V)

B+ bentonaite 5%

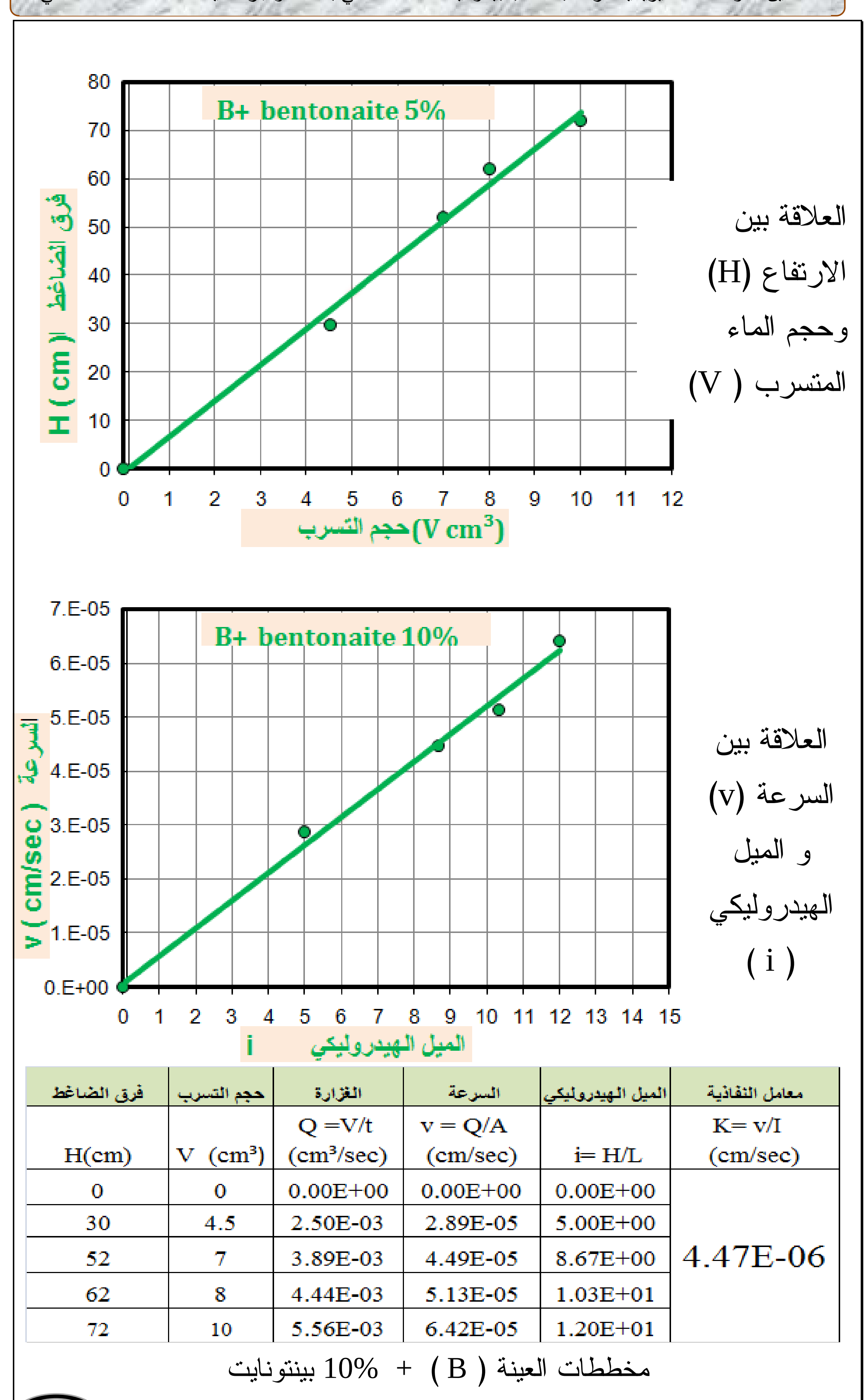
v (cm/sec) السرعة

i الميل الهيدروليكي

العلاقة بين السرعة (v) و الميل الهيدروليكي (i)

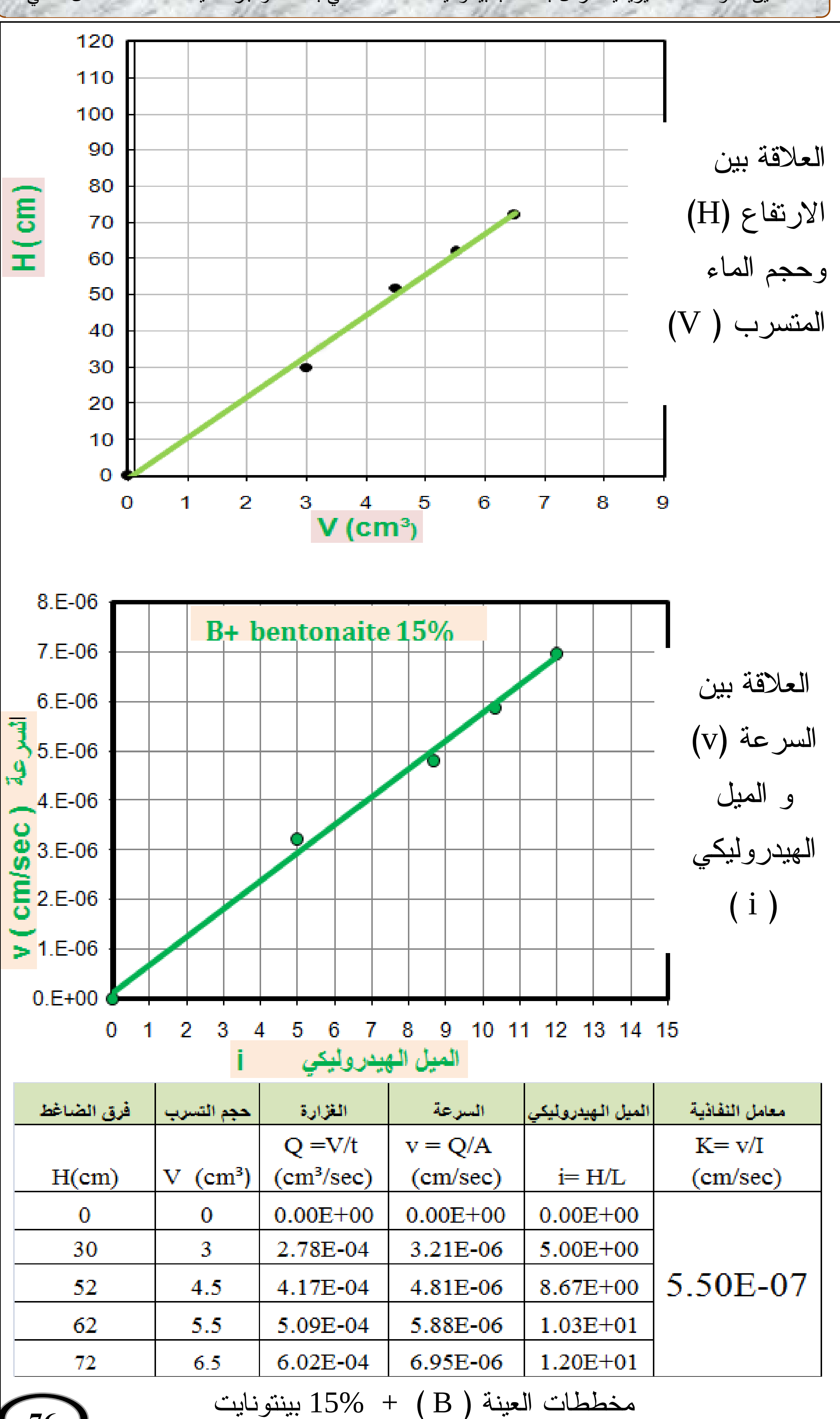
فرق الضاغط	حجم التسرب	الغزارة	السرعة	الميل الهيدروليكي	معامل النفاذية
H(cm)	V (cm³)	Q =V/t (cm³/sec)	v = Q/A (cm/sec)	i= H/L	K= v/I (cm/sec)
0	0	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	8.80E-05
28	33	3.67E-02	4.23E-04	4.67E+00	
58	64	7.11E-02	8.21E-04	9.67E+00	
68	77	8.56E-02	9.88E-04	1.13E+01	
78	86	9.56E-02	1.10E-03	1.30E+01	

مخططات العينة (B) + 5% بينتونايت



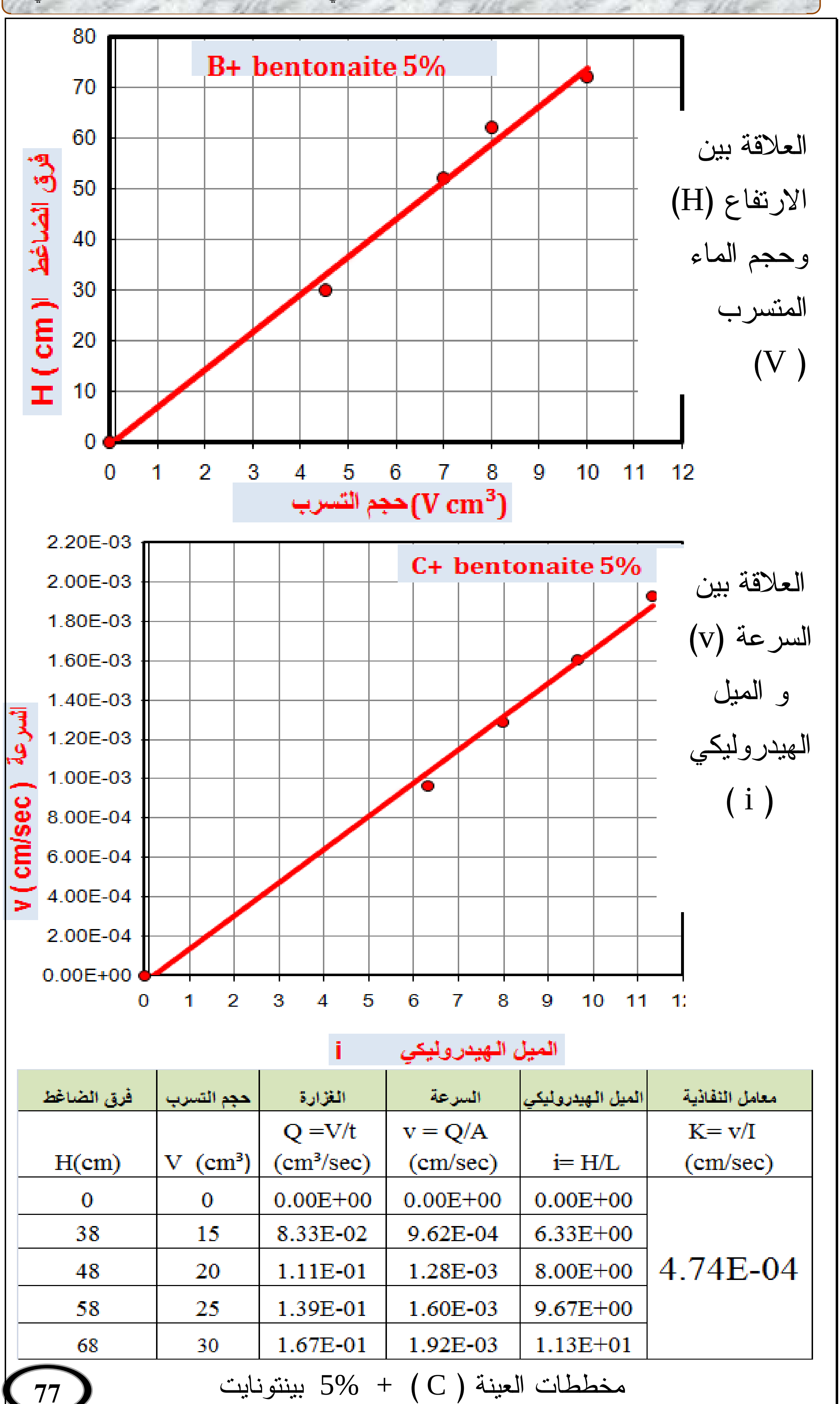
فرق الضاغط H(cm)	حجم التسرب V (cm³)	الغزارة Q =V/t (cm³/sec)	السرعة v = Q/A (cm/sec)	الميل الهيدروليكي i= H/L	معامل النفاذية K= v/I (cm/sec)
0	0	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	4.47E-06
30	4.5	2.50E-03	2.89E-05	5.00E+00	
52	7	3.89E-03	4.49E-05	8.67E+00	
62	8	4.44E-03	5.13E-05	1.03E+01	
72	10	5.56E-03	6.42E-05	1.20E+01	

مخططات العينة (B) + 10% بينتونايت



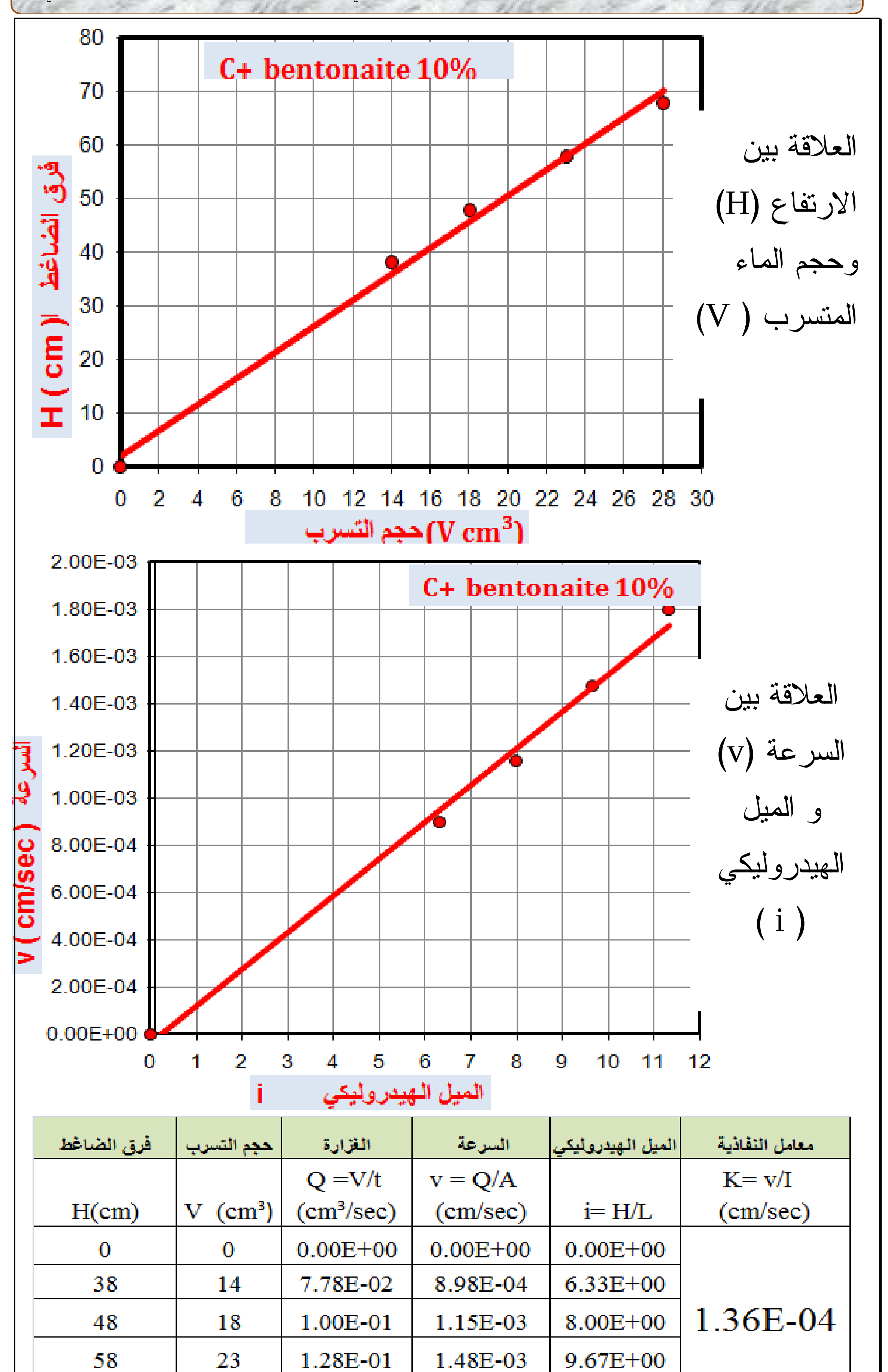
فرق الضاغط	حجم التسرب	الغزارة	السرعة	الميل الهيدروليكي	معامل النفاذية
H(cm)	V (cm³)	Q =V/t (cm³/sec)	v = Q/A (cm/sec)	i= H/L	K= v/I (cm/sec)
0	0	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	5.50E-07
30	3	2.78E-04	3.21E-06	5.00E+00	
52	4.5	4.17E-04	4.81E-06	8.67E+00	
62	5.5	5.09E-04	5.88E-06	1.03E+01	
72	6.5	6.02E-04	6.95E-06	1.20E+01	

مخططات العينة (B) + 15% بينتونايت



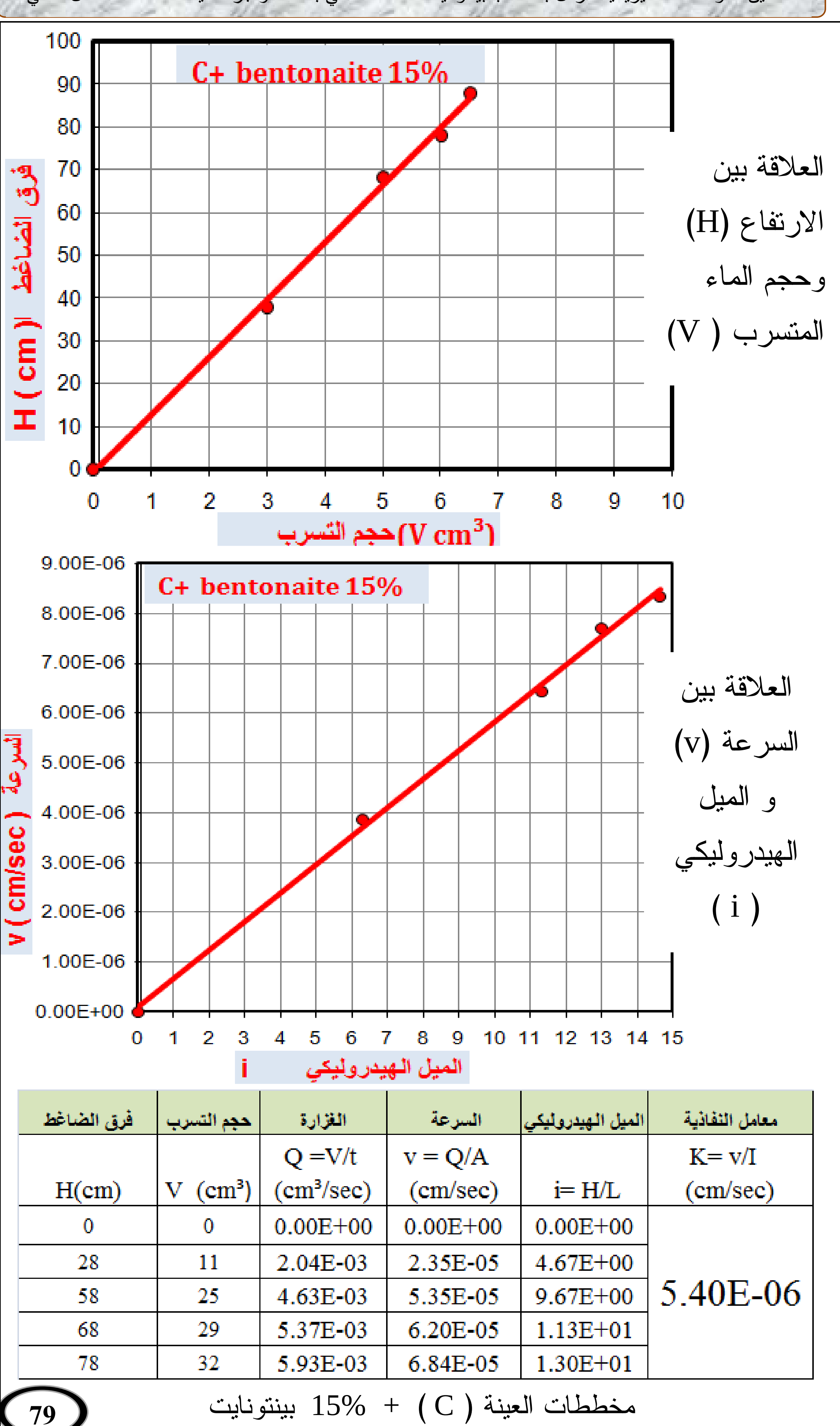
فرق الضاغط	حجم التسرب	الغزارة	السرعة	الميل الهيدروليكي	معامل النفاذية
H(cm)	V (cm³)	Q =V/t (cm³/sec)	v = Q/A (cm/sec)	i= H/L	K= v/I (cm/sec)
0	0	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	4.74E-04
38	15	8.33E-02	9.62E-04	6.33E+00	
48	20	1.11E-01	1.28E-03	8.00E+00	
58	25	1.39E-01	1.60E-03	9.67E+00	
68	30	1.67E-01	1.92E-03	1.13E+01	

مخططات العينة (C) + 5% بينتونايت



فرق الضاغط	حجم التسرب	الغزارة	السرعة	الميل الهيدروليكي	معامل النفاذية
H(cm)	V (cm³)	Q =V/t (cm³/sec)	v = Q/A (cm/sec)	i= H/L	K= v/I (cm/sec)
0	0	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.36E-04
38	14	7.78E-02	8.98E-04	6.33E+00	
48	18	1.00E-01	1.15E-03	8.00E+00	
58	23	1.28E-01	1.48E-03	9.67E+00	
68	28	1.56E-01	1.80E-03	1.13E+01	

مخططات العينة (C) + 10% بينتونايت



فرق الضاغط	حجم التسرب	الغزارة	السرعة	الميل الهيدروليكي	معامل النفاذية
H(cm)	V (cm³)	Q =V/t (cm³/sec)	v = Q/A (cm/sec)	i= H/L	K= v/I (cm/sec)
0	0	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	5.40E-06
28	11	2.04E-03	2.35E-05	4.67E+00	
58	25	4.63E-03	5.35E-05	9.67E+00	
68	29	5.37E-03	6.20E-05	1.13E+01	
78	32	5.93E-03	6.84E-05	1.30E+01	

مخططات العينة (C) + 15% بينتونايت

بعد معرفة قيم معامل النفاذية للعينات المدروسة نوردها في الجدول (2 – 10)

العينة	نسبة البينتونايت	معامل النفاذية K (cm/sec)
A	0%	9.33E-04
	5%	3.60E-04
	10%	2.20E-04
	15%	8.10E-05
B	0%	1.79E-03
	5%	8.80E-05
	10%	4.40E-06
	15%	5.50E-07
C	0%	1.50E-03
	5%	4.70E-04
	10%	1.36E-04
	15%	5.40E-06

الجدول (2 – 10)

تناقص قيم معامل النفاذية عند تزايد نسبة البينتونايت

بعض الملاحظات على تجارب النفاذية :

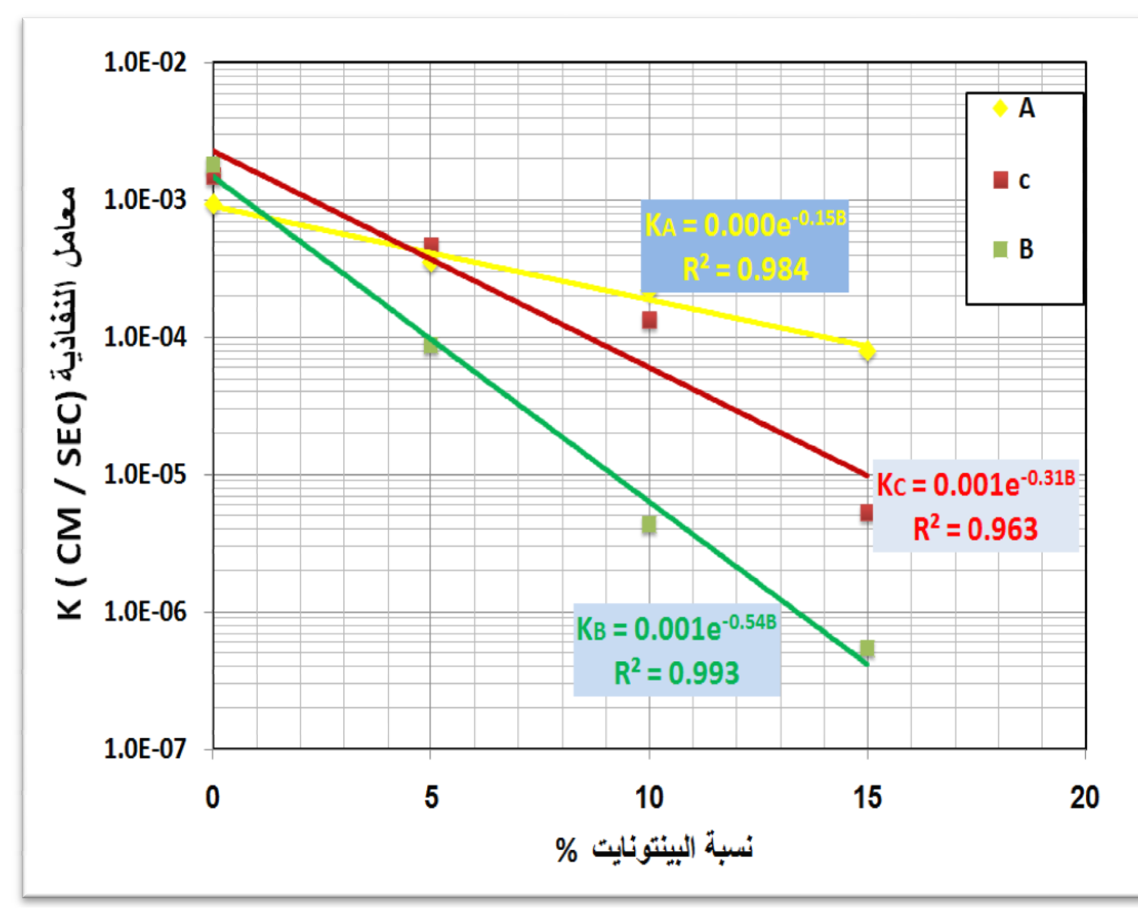
نلاحظ من خلال مراجعة نتائج تجارب النفاذية للعينات المختبرة بأن العينة (B) كانت هي العينة الأفضل ، حيث انخفض معامل النفاذية فيها من القيمة :

K= 1.79E-03 إلى القيمة : K= 5.50E-07 وبمقارنة هذا الانخفاض مع الانخفاض الذي حدث في العينتين (A) وَ (C) ، نرى أن العينة (B) كانت فعالة أكثر وحققت انخفاضاً ملموساً أكثر .

بالرغم من أن العينة (A) كانت هي التي تمتلك نفاذية أقل قبل الخلط مع البينتونايت ، وهذا التباين حسب اعتقادي يفسَر بسهولة إذا ما عدنا لتجربة المكافئ الرملي للعينات ، فنرى أن العينة (A) تحوي أكبر نسبة من النواعم ، وبذلك فقد ساعد وجود هذه المواد الناعمة بتخفيض قيمة معامل النفاذية للعينة قبل خلطها مع البينتونايت ، ولكن هذه المواد الناعمة قد لعبت دوراً مغايراً عندما وُجد البينتونايت في العينة فعلى ما يبدو فإن وجود المواد الناعمة قد أعاق من عملية انتفاخ البينتونايت و ملْئ الفراغات بالشكل الأمثل .

ولهذا نعتقد بأن العينة الرملية كلما كانت المواد الناعمة والغبار فيها أقل ، كانت أكثر استجابة للخلط مع البينتونايت وتعطي نتائج أفضل من حيث الكتامة .

نورد على الشكل (2- 21) الخط البياني النصف لوغاريتمي للعلاقة بين معامل النفاذية و نسبة البينتونايت



الشكل (2- 21) علاقة (K) بنسبة البينتونايت

يمكننا أيضاً من هذه المخططات إيجاد العلاقات الرياضية التجريبية التالية :

العينة A $K_A = 0.002e\text{-}0.15B$

العينة B $K_B = 0.001e\text{-}0.54B$

العينة C $K_C = 0.001e\text{-}0.31B$

حيث : B نسبة البينتونايت وتقاس بالنسبة المئوية

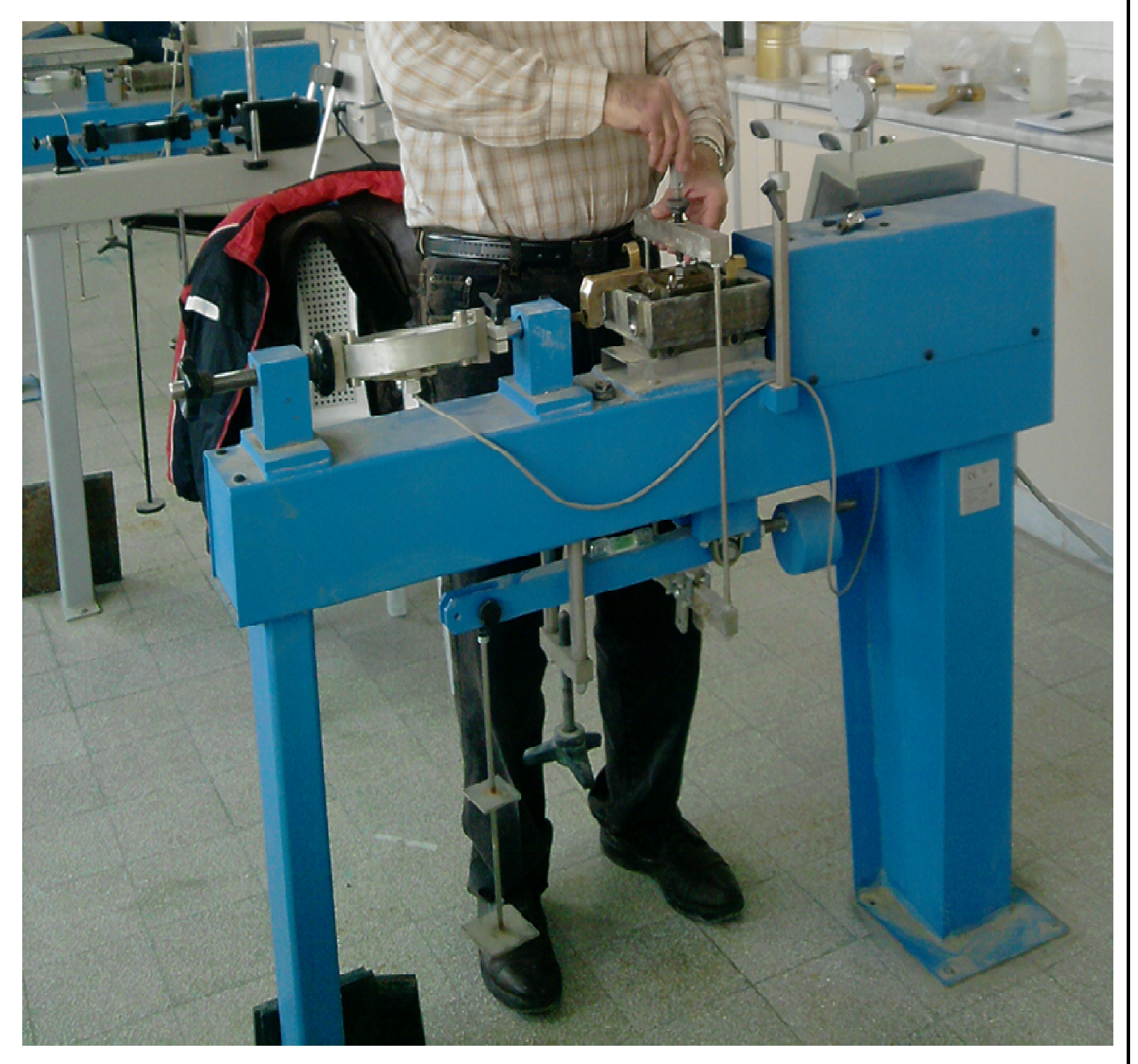
K قيمة معامل النفاذية تقدر ب (cm/sec)

2 ـ 3 ـ 7 تجربة القص البسيط :

بالرغم من أن بحثنا يركز على المواصفات الفيزيائية للتربة قبل الخلط بالبينتونايت وبعده

إلا أننا بحاجة لمعرفة مدى التحسن الذي قد طرأ على معاملات مقاومة التربة للقص وذلك بغية تقييم قدرة تحملها الجديدة .

جرت تجارب القص بجهاز القص المستوي المباشر الموجود في كلية الهندسة المدنية الوارد على الشكل (2- 22)



الشكل (2- 22)

جهاز القص المستوي المباشر في مخبر ميكانيك التربة كلية الهندسة المدنية جامعة دمشق

حيث يتألف الجهاز من علبة القص التي توضع بها العينة المربعة ، يتم تحريك جزء العينة العلوي بسرعة ثابتة أثناء عملية القص بواسطة محرك كهربائي مربوط مع العلبة عن طريق علبة السرعة ، وتطبق على العينة بنفس الوقت قوة ناظمية باستخدام أثقال تنقل إلى العينة بواسطة عتلة ، وتقاس مقاومة العينة المختبرة للقص بواسطة حلقة قياس القوة .

أما أبعاد عينة التربة فهي : 60 mm x 60 mm وبسماكة 25 mm

ويمكن أن يتم القص بإحدى الطريقتين :

- الطريقة المغلقة : هنا لا تتغير رطوبة العينة أثناء القص .
- الطريقة المفتوحة : يسمح بخروج الماء من العينة أثناء القص .

والقص بالطريقة المغلقة يتم بسرعة ثابتة و مرتفعة بحيث لا تتمكن الإجهادات العمودية المطبقة على العينة من تغيير رطوبتها وهذا ما يسمى بالقص السريع .

أما القص بالطريقة المفتوحة فيكون إما سريعاً بحيث يسمح للعينة أن تنضغط تحت تأثير الاجهادات العمودية أولاً ثم تقص العينة بسرعة ، وإما يكون بطيئاً بحيث تنضغط العينة بالبداية انضغاطاً كلياً ، ثم تطبق القوة القاصة ببطء وبازدياد قليل ومتدرج .

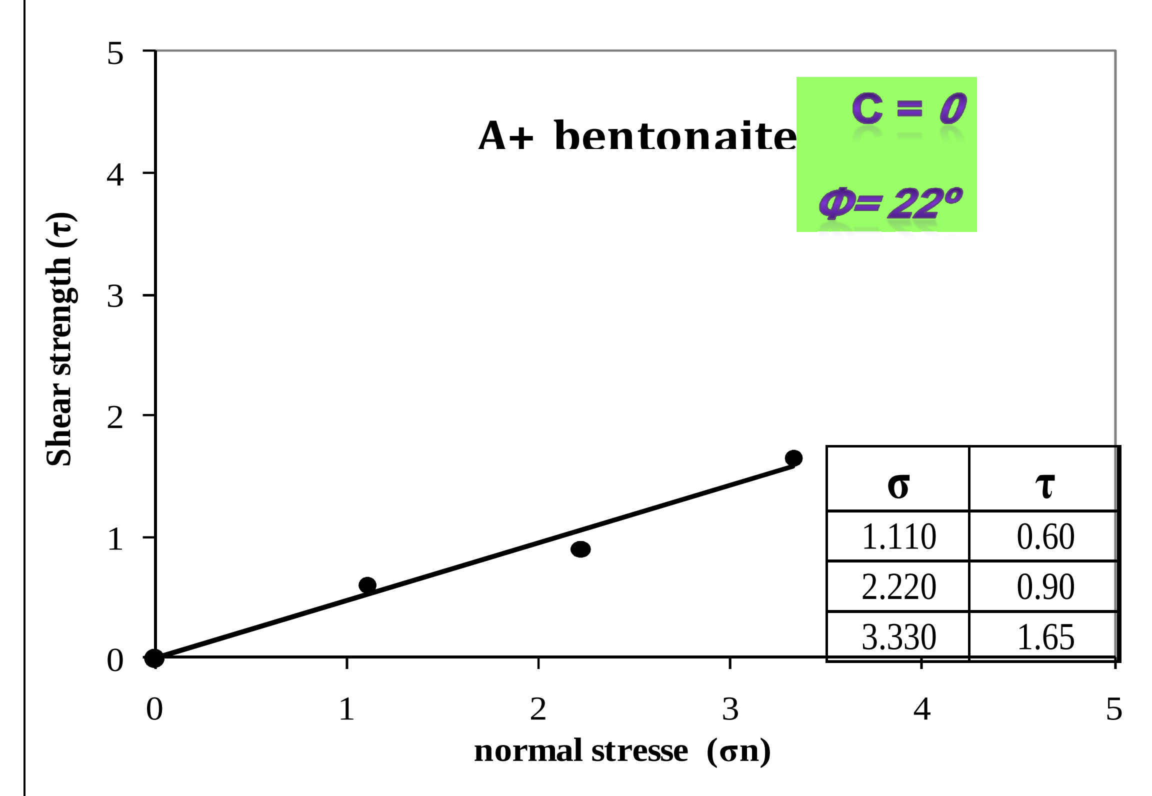
بالنسبة للطريقة التي سنعتمدها في بحثنا هذا فهي الطريقة المغلقة السريعة ، سرعة الجهاز المستخدم : 0.5 mm /min . في الشكل (2−23) نرى إحدى العينات بعد قصها .

بعد أخذ قراءات التشوهات و الانتقالات من المؤشرات ، تحسب الاجهادات القاصة الناتجة مقابل كل اجهاد ناظمي لثلاث عينات من التربة المختبرة ، ثم يرسم الخط البياني للعلاقة بين اجهاد القص (τ) و الاجهاد الناظمي (σ_n) ، إن تقاطع هذا الخط مع محور (τ) الشاقولي يعطينا قيمة التماسك C للتربة وميله مع الأفق يعطينا قيمة زاوية الاحتكاك للتربة ϕ .



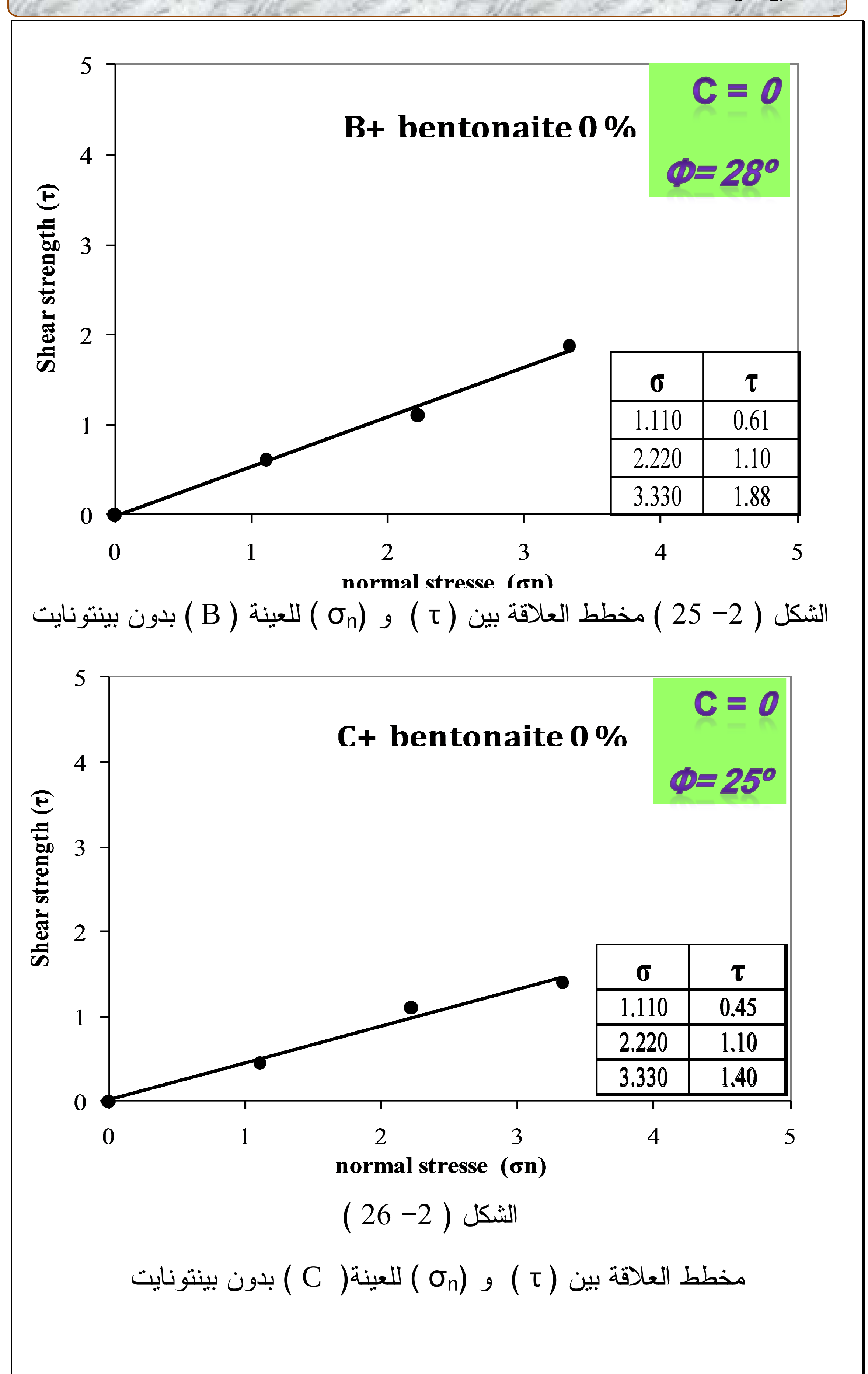
الشكل (2−23)

الآن نورد هذه المخططات للعينات المدروسة :



σ	τ
1.110	0.60
2.220	0.90
3.330	1.65

الشكل (2− 24) مخطط العلاقة بين (τ) و (σ_n) للعينة (A) بدون بينتونايت



σ	τ
1.110	0.61
2.220	1.10
3.330	1.88

الشكل (2− 25) مخطط العلاقة بين (τ) و (σ_n) للعينة (B) بدون بينتونايت

σ	τ
1.110	0.45
2.220	1.10
3.330	1.40

الشكل (2− 26)

مخطط العلاقة بين (τ) و (σ_n) للعينة(C) بدون بينتونايت

في الجدول (2 – 11) نبين نتائج إختبارات القص للعينات قبل إضافة البينتونايت:

العينة	التماسك $C\ Kg / cm^2$	زاوية الاحتكاك ϕ^o
A	0	22
B	0	28
C	0	25

الجدول (2 – 11)

الآن تبدأ المرحلة الثانية من تجارب القص وذلك بعد إضافة البينتونايت للعينلت حسب النسب الوزنية المحددة :

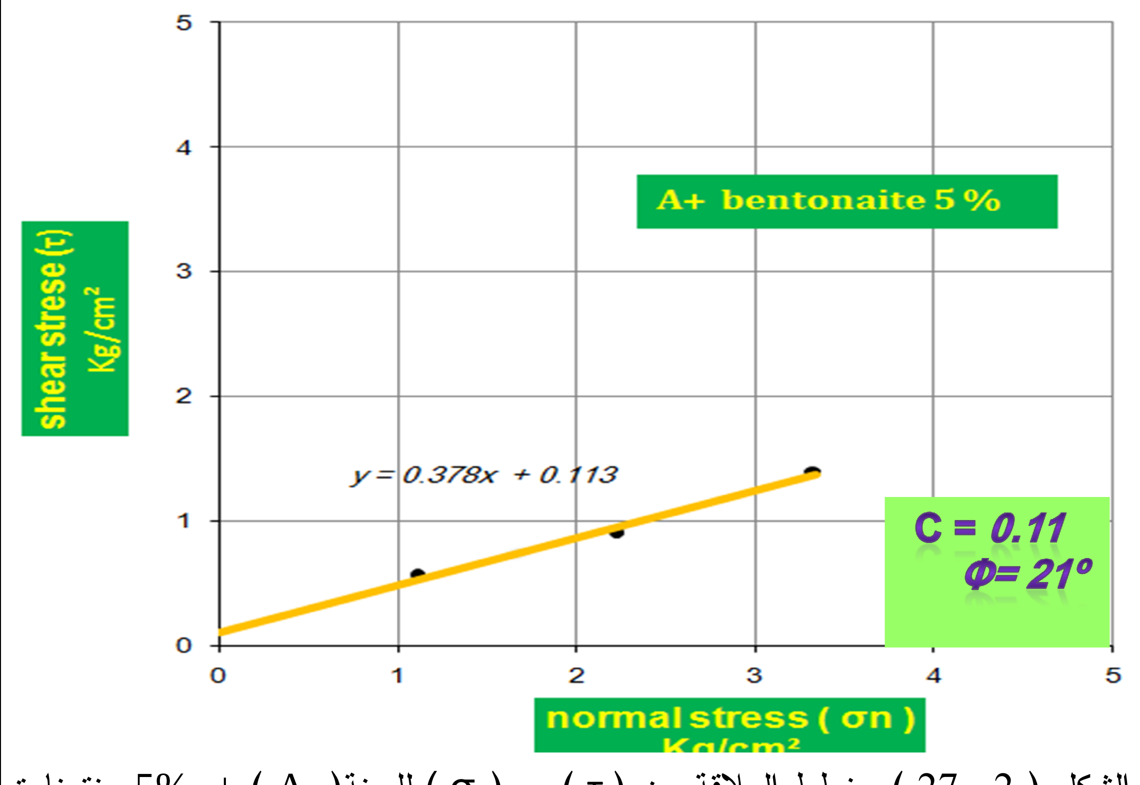
فسنورد فيما يلي مخططات العلاقة بين :

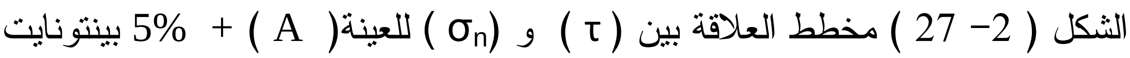
الاجهاد الناظمي σ_n (Normal Stess)

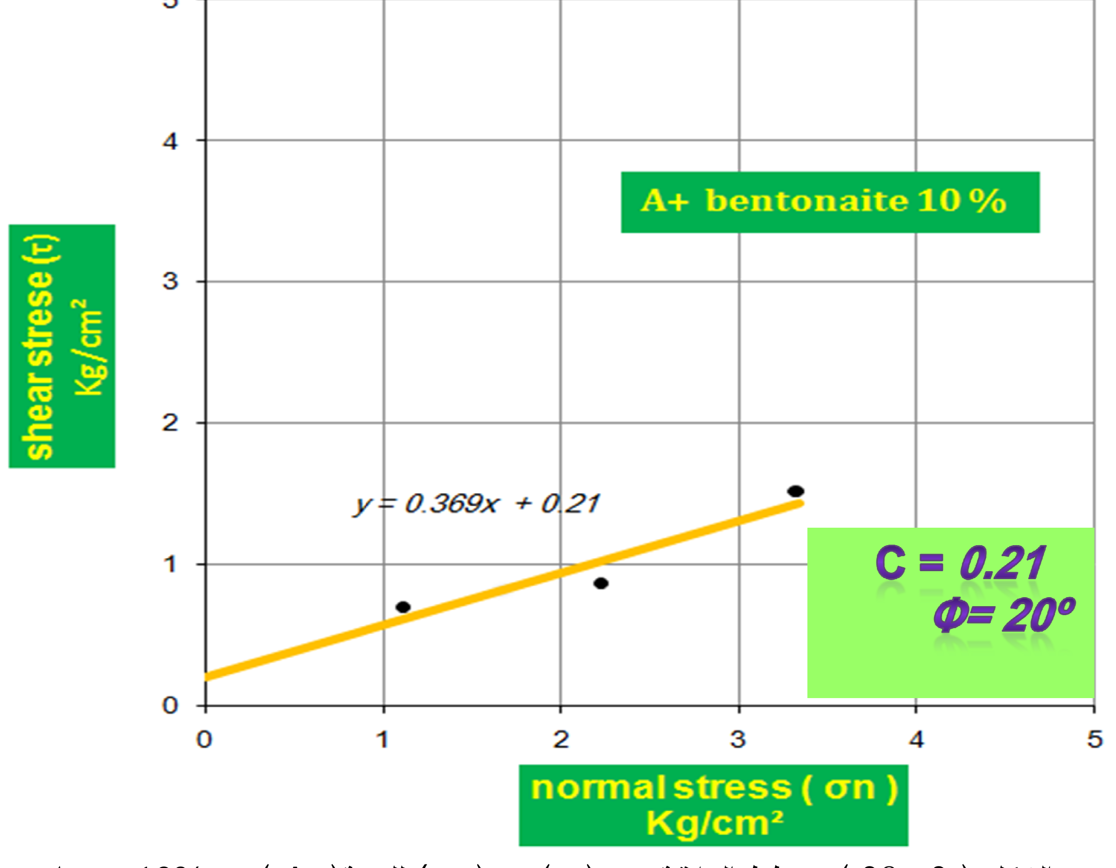
و الاجهاد المماسي τ (Shear Stress)

التي منها يمكننا معرفة كل من زاوية الاحتكاك الداخلي ϕ و التماسك C .

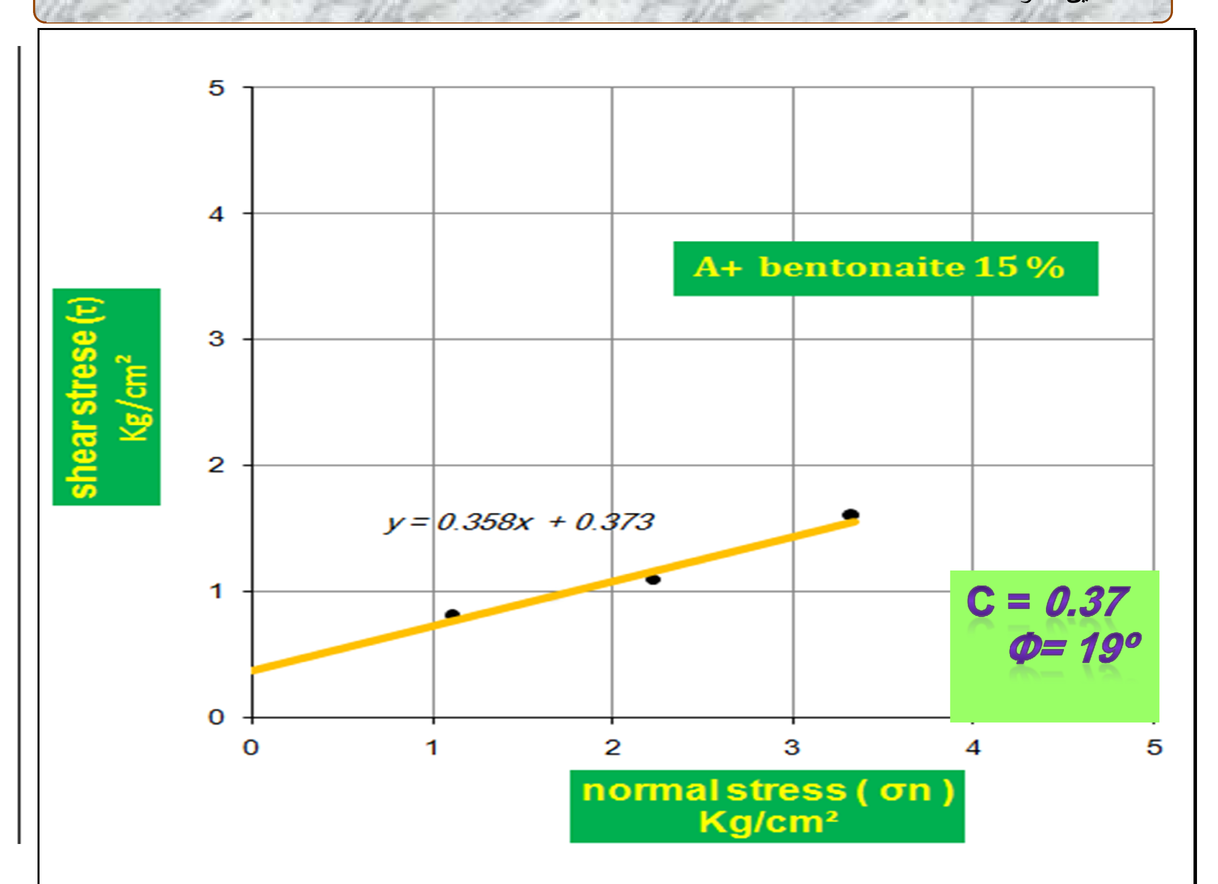
للعينات الثلاث المختبرة (A B C)




الشكل (2– 27) مخطط العلاقة بين (τ) و (σ_n) للعينة(A) + 5% بينتونايت



الشكل (2– 28) مخطط العلاقة بين (τ) و (σ_n) للعينة(A) + 10% بينتونايت



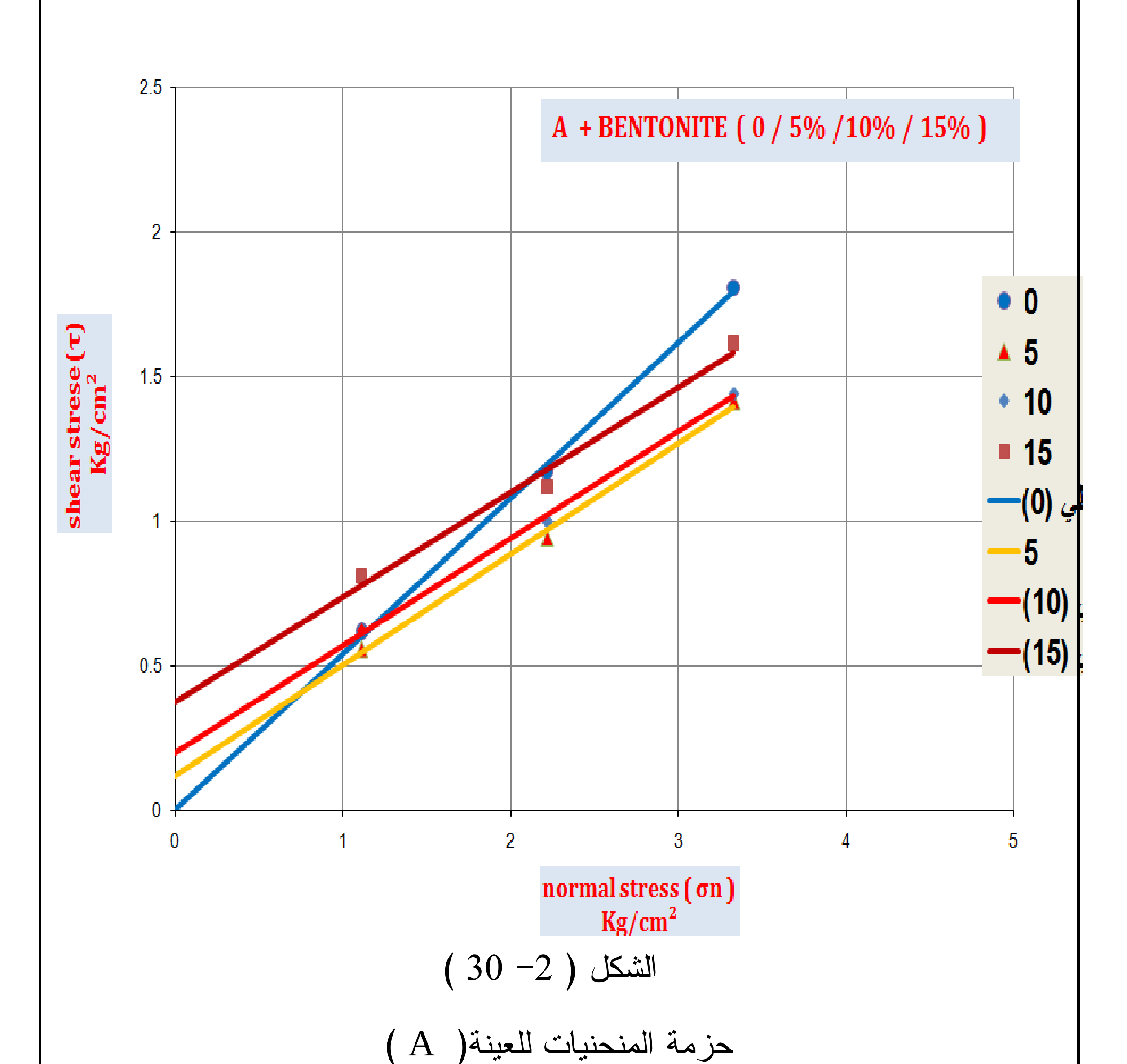
الشكل (2− 29) مخطط العلاقة بين (τ) و (σ_n) للعينة(A) + 15% بينتونايت

في الجدول (2 – 11) نلاحظ التحسن الذي طرأ على تماسك العينة مع تزايد نسبة البينتونايت ، ومقدار الانخفاض في زاوية الاحتكاك الداخلي للتربة .

العينة	نسبة البينتونايت	التماسك C (Kg / cm²)	زاوية الإحتكاك الداخلي φº
A	0%	0	22
	5%	0.11	21
	10%	0.21	20
	15%	0.37	19

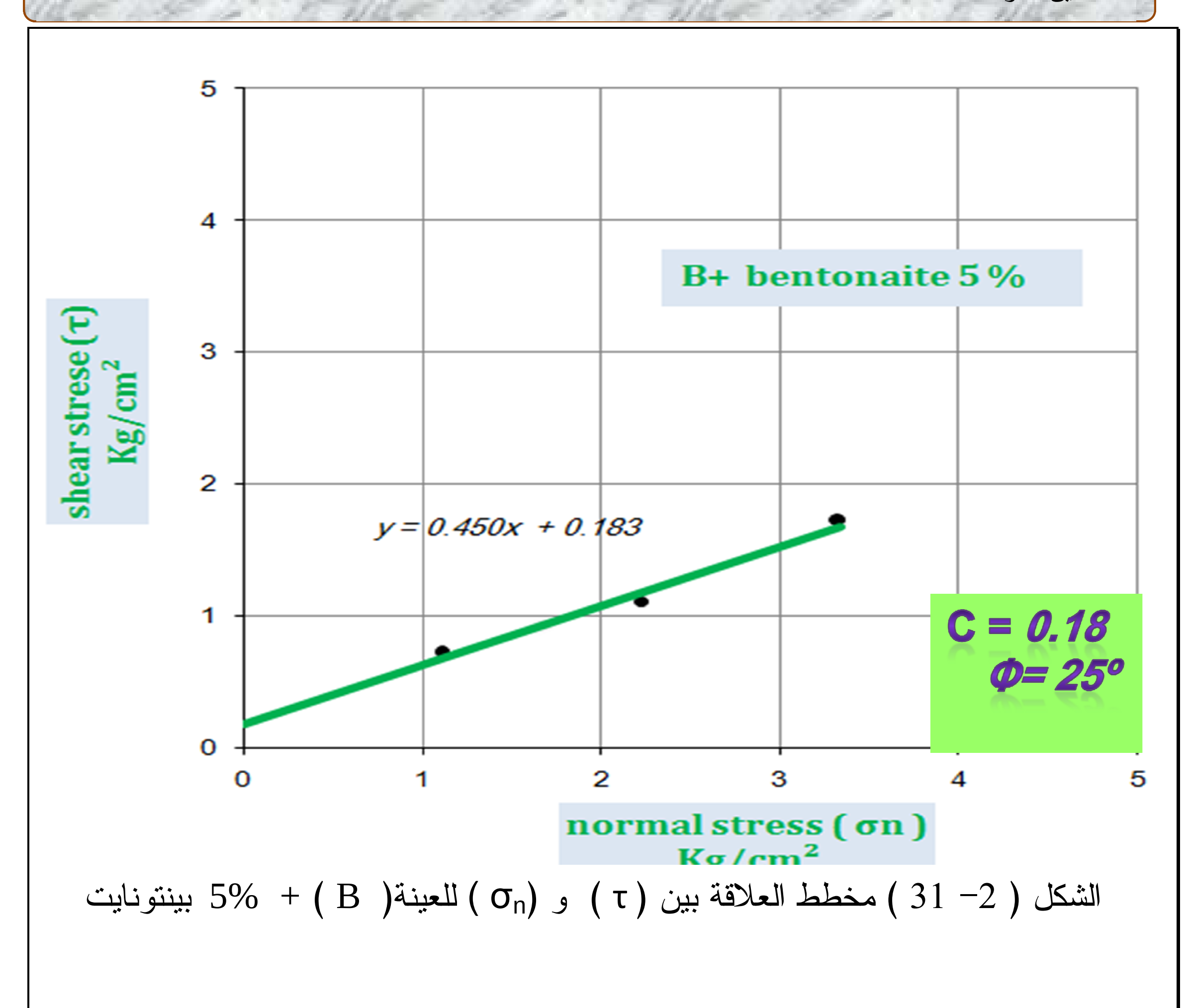
الجدول (2 – 11) تغيرات زاوية الاحتكاك الداخلي ϕ و التماسك C للعينة (A) .

بعد رسم منحنيات القص للعينة (A) تجمع هذه المنحنيات جميعها على مخطط واحد وذلك من أجل معرفة كيفية تغير القيم المدروسة مع تزايد نسبة البينتونايت :

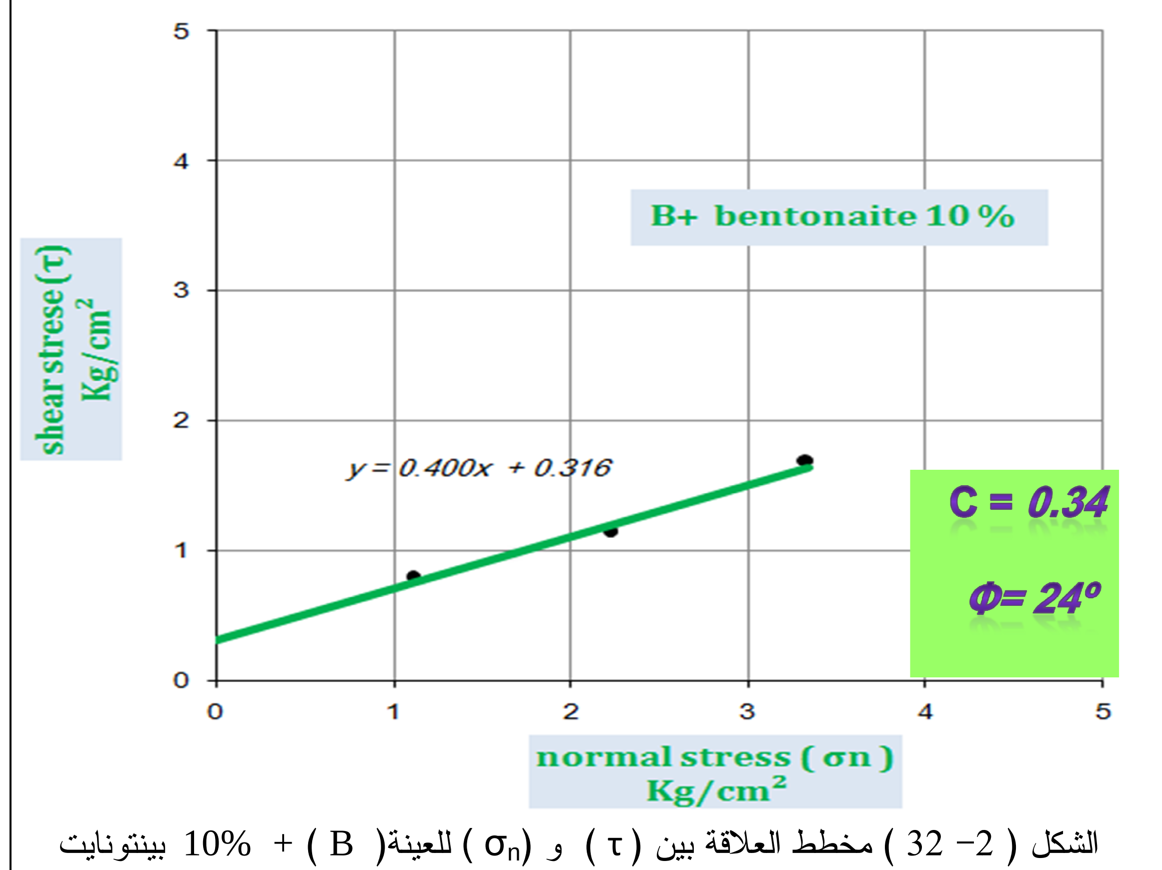


الشكل (2- 30)

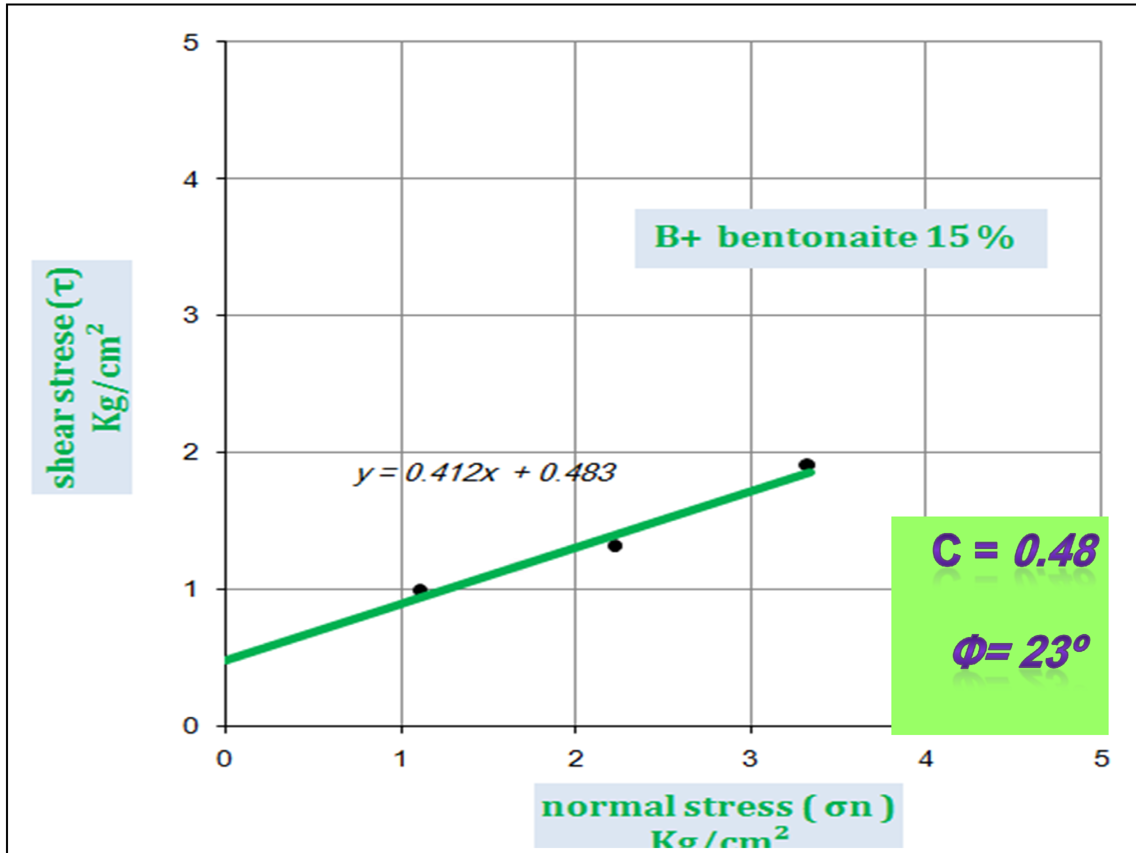
حزمة المنحنيات للعينة(A)



الشكل (2− 31) مخطط العلاقة بين (τ) و (σ_n) للعينة(B) + 5% بينتونايت



الشكل (2− 32) مخطط العلاقة بين (τ) و (σ_n) للعينة(B) + 10% بينتونايت



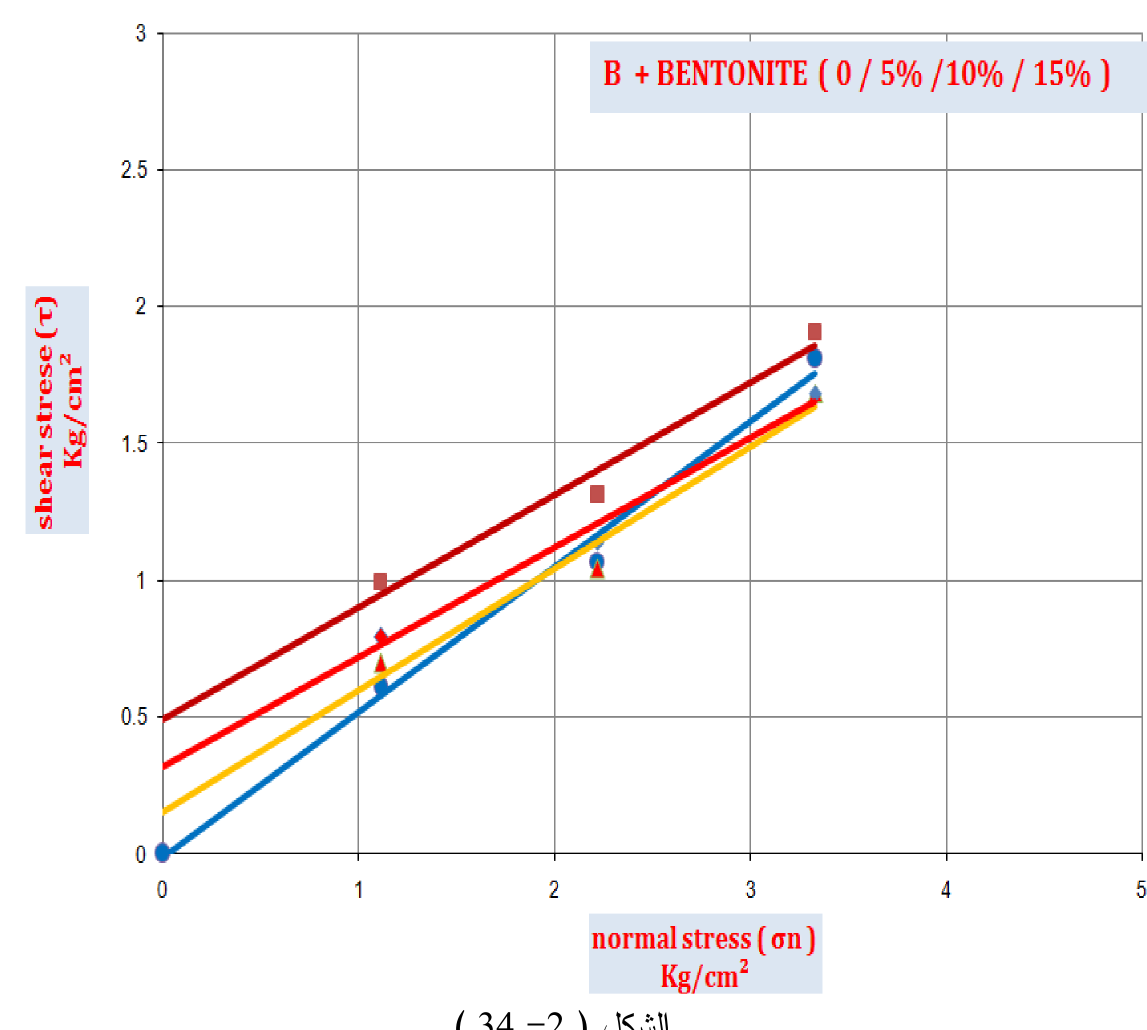
الشكل (2- 33) مخطط العلاقة بين (τ) و (σ_n) للعينة(B) + 15% بينتونايت

في الجدول (2 – 12) نلاحظ التحسن الذي طرأ على تماسك العينة مع تزايد نسبة البينتونايت ، ومقدار الانخفاض في زاوية الاحتكاك الداخلي للتربة .

العينة	نسبة البينتونايت	التماسك C (Kg / cm²)	زاوية الإحتكاك الداخلي φ°
B	**0%**	0	28
	5%	0.18	25
	10%	0.34	24
	15%	0.48	23

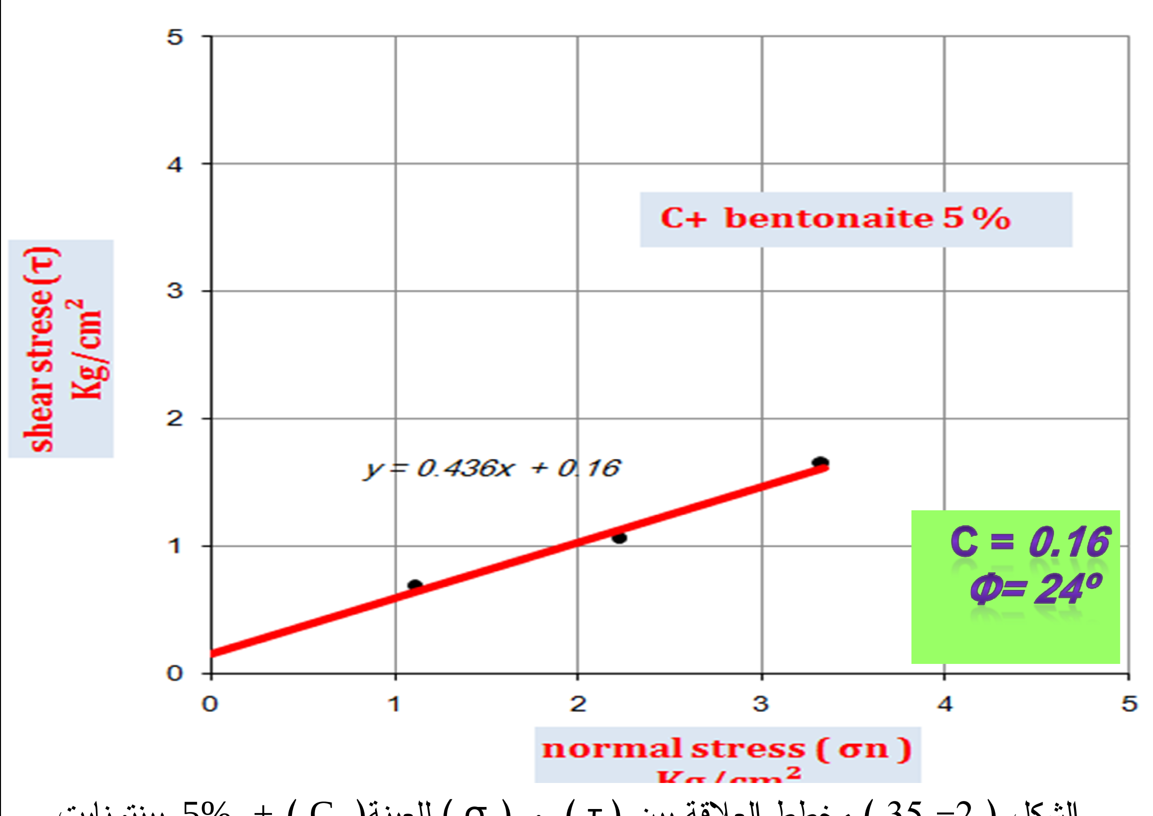
الجدول (2 – 12) تغيرات زاوية الاحتكاك الداخلي ɸ و التماسك C للعينة (B) .

بعد رسم منحنيات القص للعينة (B) تجمع هذه المنحنيات جميعها على مخطط واحد الشكل (2− 34) وذلك من أجل معرفة كيفية تغير القيم المدروسة مع تزايد نسبة البينتونايت :

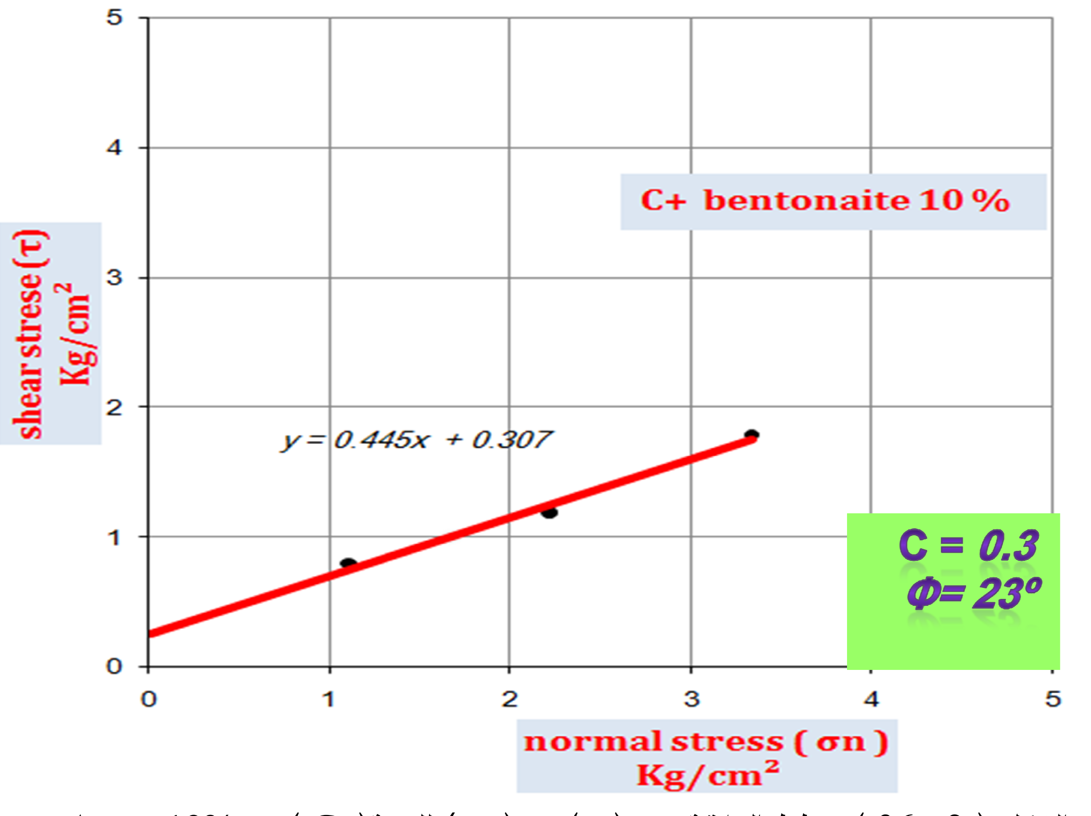


الشكل (2− 34)

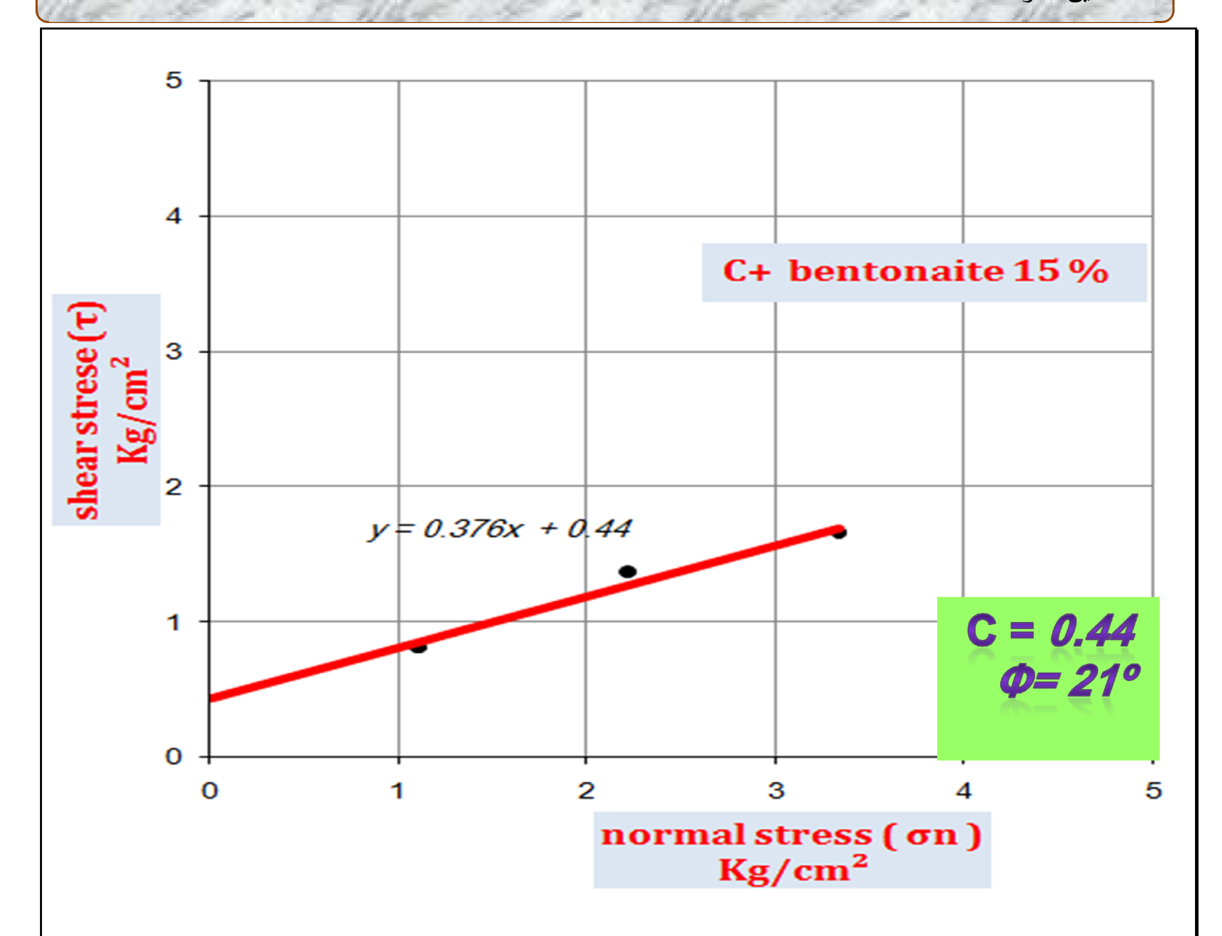
حزمة المنحنيات للعينة(B)



الشكل (2− 35) مخطط العلاقة بين (τ) و (σ_n) للعينة(C) + 5% بينتونايت



الشكل (2− 36)مخطط العلاقة بين (τ) و (σ_n) للعينة(C) + 10% بينتونايت



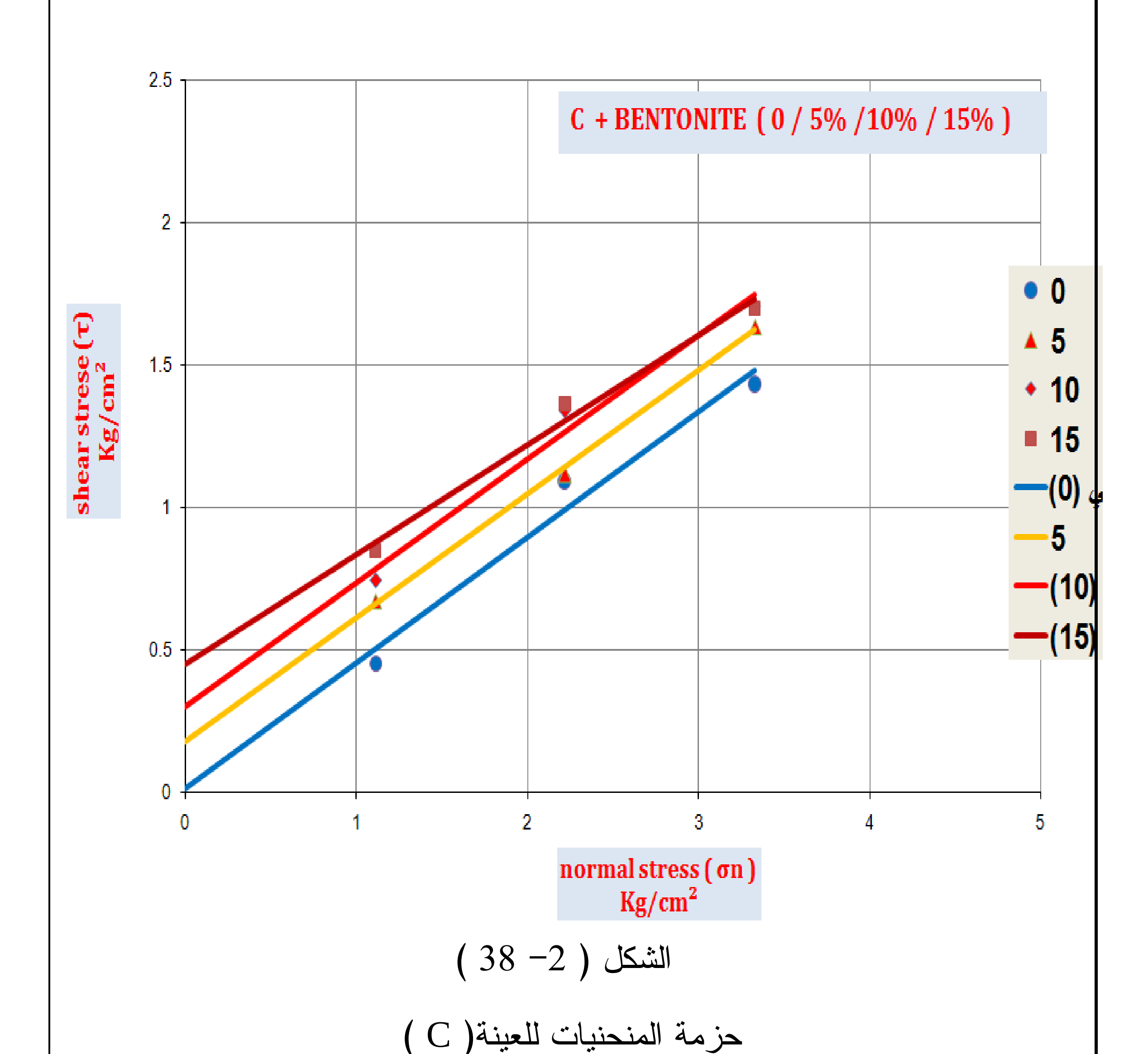
الشكل (2− 37) مخطط العلاقة بين (τ) و (σ_n) للعينة(C) + 15% بينتونايت

في الجدول (2 – 13) نلاحظ التحسن الذي طرأ على تماسك العينة مع تزايد نسبة البينتونايت ، ومقدار الانخفاض في زاوية الاحتكاك الداخلي للتربة .

زاوية الإحتكاك الداخلي	التماسك	نسبة البينتونايت	العينة
φº	C (Kg / cm²)		
25	0	**0%**	C
24	0.16	**5%**	
23	0.3	**10%**	
21	0.44	**15%**	

الجدول (2 – 13) تغيرات زاوية الاحتكاك الداخلي ф و التماسك C للعينة (C) .

بعد رسم منحنيات القص للعينة (C) تجمع هذه المنحنيات جميعها على مخطط واحد الشكل (2− 38) وذلك من أجل معرفة كيفية تغير القيم المدروسة مع تزايد نسبة البينتونايت :

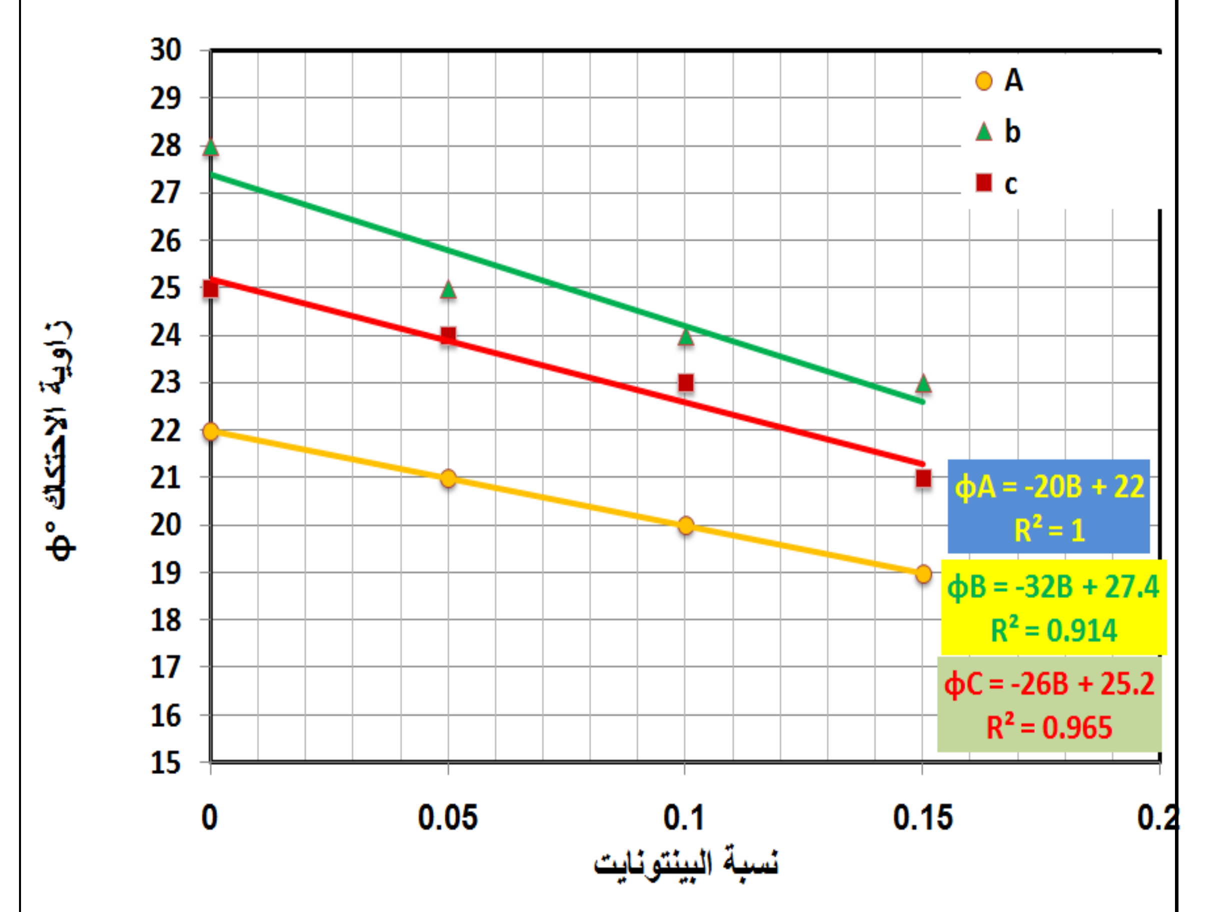


الشكل (2− 38)

حزمة المنحنيات للعينة(C)

بعد أن استعرضنا نتائج تجارب القص التي أجريت على العينات الثلاث ، نرسم المنحني للعلاقة بين زاوية الاحتكاك الداخلي ϕ و نسبة البينتونايت .

الشكل (2– 39)



الشكل (2– 39)

العلاقة بين زاوية الاحتكاك الداخلي ϕ و نسبة البينتونايت B للعينات الثلاث

بعد رسم العلاقات السابقة يمكننا استخراج المعادلات التجريبية التي تعطينا زاوية الاحتكاك الداخلي لكل نوع من أنواع التربة الرملية المختارة بعد تحديد نسبة البينتونايت المضافة له :

العينة A $\phi_A = -20B + 22$

العينة B $\phi_B = -32B + 27.4$

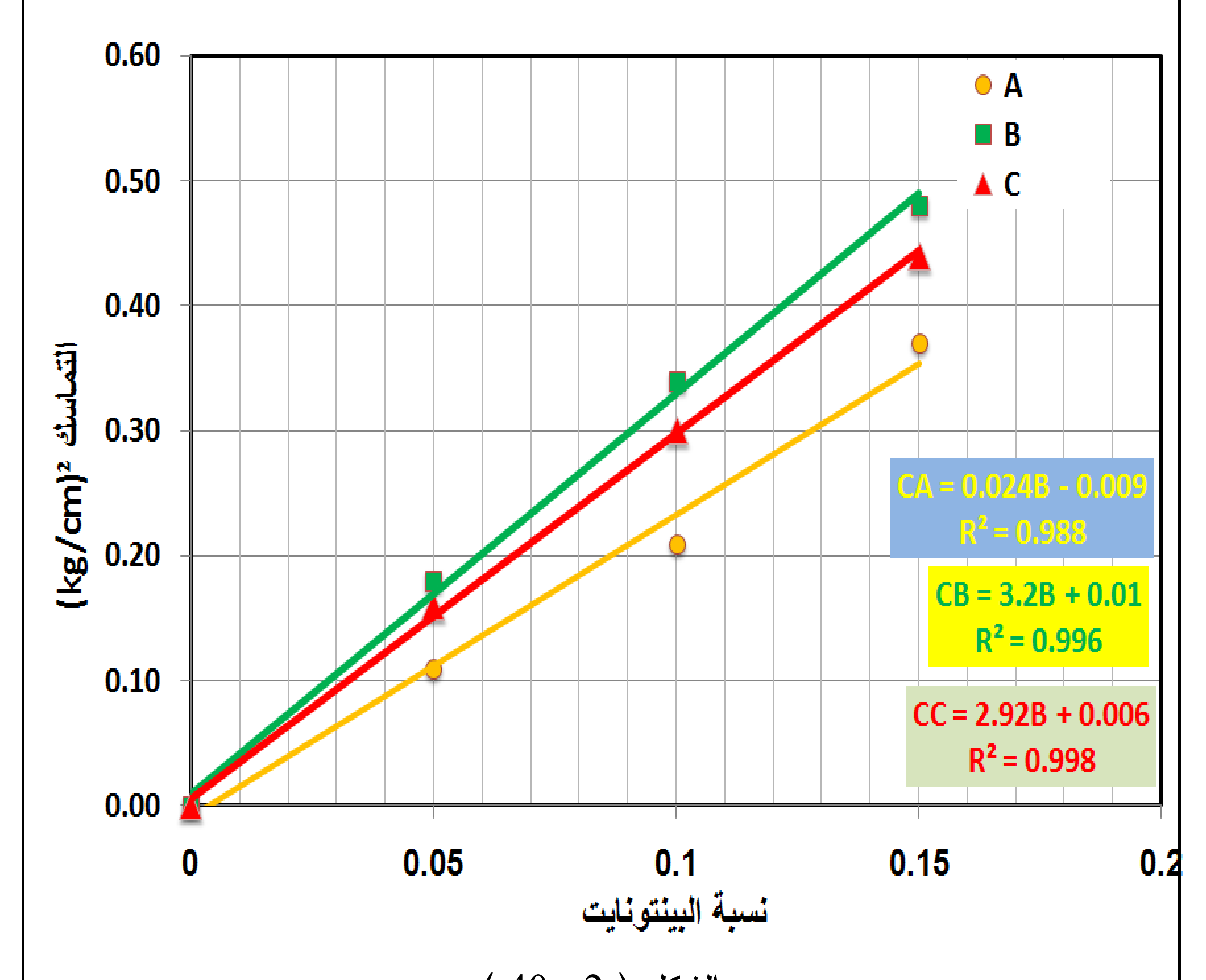
العينة C $\phi_C = -26B + 25.2$

حيث : B نسبة البينتونايت وتقاس بالنسبة المئوية

Φ قيمة زاوية الاحتكاك الداخلي وتقدر بالدرجة

وكذلك يمكننا أن نرسم المنحني للعلاقة بين التماسك C و نسبة البينتونايت .

الشكل (2− 40)



الشكل (2− 40)

العلاقة بين التماسك C و نسبة البينتونايت B للعينات الثلاث

بعد رسم العلاقات السابقة يمكننا استخراج المعادلات التجريبية التي تعطينا التماسك C لكل نوع من أنواع التربة الرملية المختارة بعد تحديد نسبة البينتونايت المضافة له :

العينة A	$C_A = 2.42\ B - 0.009$
العينة B	$C_B = 3.2\ B + 0.01$
العينة C	$C_C = 2.92\ B + 0.006$

حيث : B نسبة البينتونايت وتقاس بالنسبة المئوية

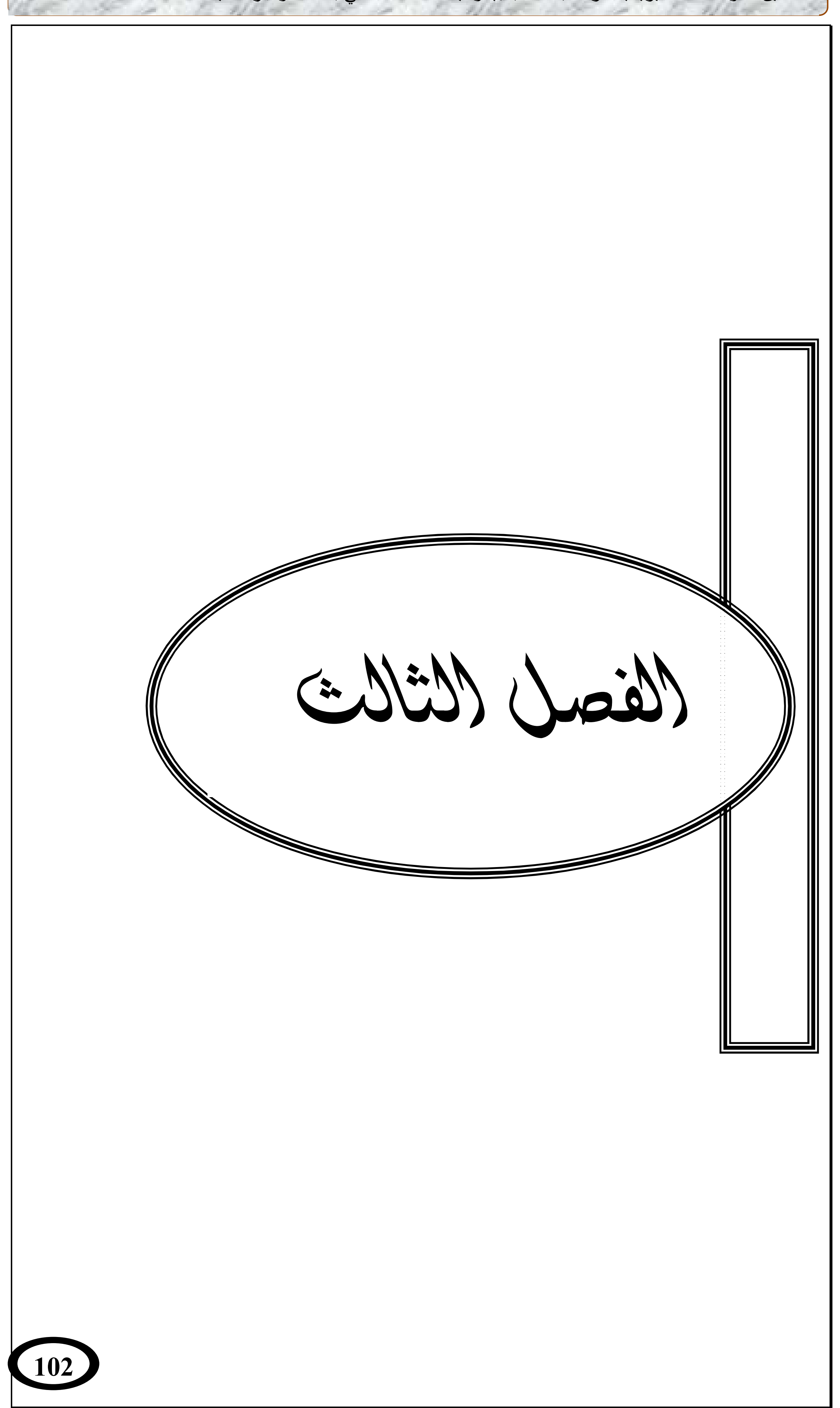
C قيمة التماسك وتقدر ب (Kg / Cm^2)

يمكننا الآن إجمال النتائج جميعاً في الجدول (2 – 14)

العينة	نسبة البينتونايت	الوزن الحجمي الجاف الأعظمي	الرطوبة المثالية	معامل النفاذية	التماسك	زاوية الإحتكاك الداخلي
		?d max (g / cm³)	Wopt %	K (cm/sec)	C (Kg / cm²)	φ⁰
A	0%	1.72	11.5	9.33E-04	0	22
	5%	1.76	12	3.60E-04	0.11	21
	10%	1.85	12.5	2.20E-04	0.21	20
	15%	1.9	12.7	8.10E-05	0.37	19
B	0%	1.74	10	1.79E-03	0	28
	5%	1.81	11.5	8.80E-05	0.18	25
	10%	1.86	12	4.40E-06	0.34	24
	15%	1.93	13	5.50E-07	0.48	23
C	0%	1.7	11	1.50E-03	0	25
	5%	1.77	13.5	4.70E-04	0.16	24
	10%	1.84	14.5	1.36E-04	0.3	23
	15%	1.89	15	5.40E-06	0.44	21

الجدول (2 – 14)

نتائج تجارب القص و النفاذية و الرص



الفصل الثالث

3 ـــ 1 النتائج والتوصيات :

1. العينة B كانت هي الأفضل من حيث الكتامة بعد الخلط ، وذلك لأن تدرجها الحبي كان هو الأفضل ، ولذلك فإن العينة ذات التدرج الحبي الجيد تعطي نتائج أفضل من حيث الكتامة .

2. إن العينة الرملية كلما كانت المواد الناعمة والغبار فيها أقل ، كانت أكثر استجابة للخلط مع البينتونايت وتعطي نتائج أفضل من حيث الكتامة .

3. فعالية البينتونايت المحلي المكون أساساً من مونتموريللونيت الكالسيوم أقل بكثير من فعالية البينتونايت المتوفر في دول أخرى الذي هو بينتونايت صوديوم وذلك استخلصناه من تجارب البروكتور وتجارب النفاذية بعد مقارنتها مع البحوث المرجعية .

4. وجدنا العلاقة التجريبية التي تربط بين معامل النفاذية و نسبة البينتونايت

(نورد فقط علاقة العينة B) :

$$K_B = 0.00179 .e-0.6 B$$

حيث B نسبة البينتونايت وتؤخذ كرقم صحيح وليس كنسبة

K هي قيمة معامل النفاذية تقدر ب (cm/sec)

5. طرأ انخفاض ملحوظ على زاوية الاحتكاك الداخلي بنسبة من 14% إلى 18%.

6. ازداد التماسك بنسب متفاوتة وصلت حتى 48%.

7. ازدادت قيم الوزن الحجمي الجاف عندما كانت نسبة الخلط أقل من 15%ازدادت بنسبة حوالي 11%.

8. القيمة المثلى للخلط هي النسبة 15% لأن قيم الوزن الحجمي بعدها تبدأ بالانخفاض .

9. إن الزيادة التي طرأت على التماسك هي زيادة جيدة فقد أعطت المزيج متانة أكبر ولكنها غير كافية . لذلك نوصي بإجراء المزيد من البحوث بخلط مواد إضافية تزيد من المتانة .

3 ــ2 المراجع :

المراجع العربية :

1. د . حنا يني ميكانيك التربة 1990 جامعة دمشق
2. براجا م. داس هندسة الأساسات 2008 دار شعاع دمشق
3. د . صالح الفراج دراسة علاقة انتفاخ الغضار بظاهرة الحلول أثناء اختراق التوضعات الغضارية 2005 www.pdffactory.com
4. د.فوزي سعيد محمد عواد إدارة وترشيد وتوزيع مياه الري الحقلي 2007 جامعة الملك سعود

المراجع الأجنبية :

5. Prediction Method For Swelling Characteristics Of Bentonite For Nuclear Waste Disposal
Hideo Komine and Nobuhide Ogata Radioactive Waste Management and Environmental Remediation — ASME(1999), Japan

6. Suction And Volume Changes Of Compacted Sand-Bentonite Mixtures
Julio Esteban Colmenares Montar Ez (2002)
University Of London

7. Thermo-Hydro-Mechanical Behavior Of Compacted Bentonite-Sand Mixtures An Experimental Study
Yulian Firmana Arifin Faculty of Civil Engineering Bauhaus-University Weimar Indonesia (2001)

8. **Influence Of Dry Density And Water Content On The Swelling Of A Compacted Bentonite**

M. Victoria Villar , Antonio Lloret Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas Madrid, Spain (2008)

9. **Transport of heavy metals and chemical compatibility of hydraulic conductivity of a compacted sand-bentonite mixture**

Tanit Chalermyanont, Surapon Arrykul Department of Mining and Materials Engineering, Faculty of Engineering Songkla University, (2008)

10. **Performance Assessment Of Compacted Bentonite/Sand Mixtures Utilized As Isolation Material In Underground Waste Disposal Repositories**

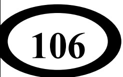
Mahir Ada MIDDLE EAST TECHNICAL UNIVERSITY (JULY 2007)

11. **Expansive Soils**

Amer Ali Al-Rawas Department of Civil and Architectural Engineering,College of Engineering, Sultan Qaboos University, Sultanate of Oman (2006)

12. **Hydraulic Conductivity and Shear Strength of compacted Dune Sand - Bentonite Mixtures**

.M .K. Gueddouda. University of Laghouat, Algeria ICCBT (2008)



Abstract

Improvement Of The Sand Physical Properties By Mixing With Bentonite In Execution Of Impermeable Barriers

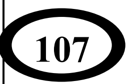
(ponds – irrigation canals)

the irrigation canals and artificial lakes that were ornamental or investment is one of the most important applications of water projects in our country, so it was too necessary to go into the scientific research that are in this direction, and finding materials lining new and working methods of the more sophisticated and cost-effective implementation of the barriers these projects .

from this introduction came the idea of this research to find the ideal ratio for mixing bentonite with sand , and knowledge improvement of the physical specifications of the sand permeability, especially for the use of this new material as a layer of lining layers of lakes and irrigation canals .

We selected three samples of sand from different places and mixed the samples by mixing sand and bentonite by specific ratios and gradually , then we did the unite weight test and compaction test ,and permeability test , and we did a simple shear test,

until we see improvement that occurred of the new mix .



Syrian Arab Republic
Ministry of Higher Education
Damascus University
Faculty of Civil Engineering
Department of Geotechnical Engineering



Improvement Of The Sand Physical Properties By Mixing With Bentonite In Execution Of Impermeable Barriers
(ponds – irrigation canals)

Prepared study for attaining the degree of master in geotechnical engineering

By Eng . KHaled ALkhatib

Supervisor

DR . Eng GHiath AL qasem
DR . Eng Mohamad AL nassar

2011